

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

СПРАВОЧНИК ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МАШИНАМ

В двух томах

Под общей редакцией
доктора технических наук И. П. КОПЫЛОВА
и кандидата технических наук Б. К. КЛОКОВА

Том 1



МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1988

ББК 31.261
С 74
УДК 621.313(035.5)

Рецензент доктор техн. наук Е. Г. Орлов

Справочник по электрическим машинам: В 2 т./
С 74 Под общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова.
Т. 1.— М.: Энергоатомиздат, 1988.— 456 с.: ил.
ISBN 5-283-00500-3

Приведены технические данные, описаны особенности конструкций и области применения электрических машин, выпускаемых предприятиями электротехнической промышленности СССР. Дана классификация электрических машин, описаны системы охлаждения, типы и особенности конструкций обмоток, приведены методы испытаний электрических машин. Том первый содержит технические данные машин общего назначения и крупных машин различных типов. Том второй выйдет в 1989 г.

Для инженеров и техников, занятых эксплуатацией электрических машин, проектированием электрического оборудования различных предприятий, промышленных объектов и установок.

С 2302030000-078 145-88
051(01)-88

ББК 31.261

ISBN 5-283-00500-3 (т. 1)

ISBN 5-283-00555-0

© Энергоатомиздат, 1988

Электрические машины применяются во всех отраслях промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве и быту. Почти вся электрическая энергия вырабатывается электрическими генераторами, а две трети ее преобразуется электрическими двигателями в механическую энергию. От правильного выбора и использования электрических машин во многом зависит технический уровень изделий многих отраслей промышленности.

Номенклатура выпускаемых в СССР электрических машин огромна. В данном Справочнике содержатся сведения почти о 100 000 типоразмеров электрических машин.

Первый том Справочника содержит общие сведения, относящиеся ко всем электрическим машинам, в том числе вопросы стандартизации в электромашиностроении, промышленных испытаний, технического обслуживания и ремонта электрических машин (часть первая), а также технические данные электрических машин общего назначения (синхронных, асинхронных и машин постоянного тока) и крупных электрических машин: турбогенераторов, гидрогенераторов, синхронных компенсаторов, асинхронных двигателей и двигателей постоянного тока большой мощности (часть вторая).

Во втором томе Справочника приводятся технические данные исполнительных и информационных электрических машин малой мощности, применяемых в системах автоматики (часть третья), и электрических машин специального назначения: крановых, металлургических, судовых, тяговых, а также машин, применяемых в гибких производственных системах и робототехнологических комплексах, в автотракторном электрооборудовании, для привода электрифицированного инструмента, в вытовой технике, и т. п. (часть четвертая).

Справочник предназначен для специалистов, занимающихся применением и эксплуатацией электрических машин, поэтому в нем приводятся лишь основные сведения, необходимые для проектирования и эксплуатации электромеханических систем. Материал Справочника рассчитан в основном на инженеров-электромехаников, энергетиков и элект-

риков, а также аспирантов и студентов высших и средних специальных учебных заведений.

Справочник по электрическим машинам, выпускаемым в СССР, издается впервые. До сих пор сведения по отдельным типам электрических машин приводились в отдельных монографиях и справочниках [2, 7, 11, 15, 18, 20, 23]. В данном Справочнике сделана попытка собрать в одном издании сведения по всем электрическим машинам. Конечно, номенклатура электрических машин так велика, что при всем старании авторов не все электрические машины попали на его страницы. Но авторы уверены, что большинство читателей найдут в нем ответы на интересующие их вопросы.

Капитальный труд по составлению Справочника выполнен большим коллективом авторов — ведущих специалистов электротехнической промышленности и высшей школы. В каждом томе приведен список авторов с указанием разделов, написанных каждым автором. Координация и сбор материалов, его систематизация и редактирование проведены доктором техн. наук И. П. Копыловым и канд. техн. наук Б. К. Клоковым.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность рецензенту доктору техн. наук Е. Г. Орлову за ценные замечания и рекомендации, сделанные при просмотре рукописи.

Редакторы Справочника признательны сотрудникам Московского энергетического института Г. А. Лебедевой, Н. С. Сергеевой, Т. А. Киселевой, Л. Л. Игнатьевой за большую помощь в подготовке рукописи к изданию.

Редакторы и авторы Справочника с благодарностью примут все замечания и предложения по улучшению структуры Справочника, дополнению или изменению номенклатуры рассмотренных электрических машин, которые следует направлять в адрес Энергоатомиздата: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

*И. П. Копылов
Б. К. Клоков*

Предисловие — доктор техн. наук И. П. Копылов, канд. техн. наук Б. К. Клоков.

Раздел 1 (кроме § 1.5 и 1.7) — доктор техн. наук И. П. Копылов; § 1.5 — канд. техн. наук Б. К. Клоков, § 1.7 — канд. техн. наук В. С. Малышев.

Раздел 2 — инженеры Ю. П. Шевель и Г. А. Бокман.

Разделы 3—5 (кроме п. 5.3.9, § 5.4) — канд. техн. наук Б. К. Клоков; п. 5.3.9 — канд. техн. наук В. С. Малышев; § 5.4 — канд. техн. наук Н. Ф. Котеленец.

Разделы 6 и 7 — канд. техн. наук Н. Ф. Котеленец (п. 6.3.3 — совместно с канд. техн. наук В. Я. Беспаловым).

Раздел 8 (кроме § 8.1 и пп. 8.4.2—8.4.5, 8.4.8,

8.4.9, 8.6.4, 8.6.6, 8.6.7) — чл.-корр. АН СССР Я. Б. Данилевич; § 8.1 — доктор техн. наук И. П. Копылов; пп. 8.4.2—8.4.5, 8.4.8, 8.4.9, 8.6.4, 8.6.6, 8.6.7 — канд. техн. наук Б. К. Клоков.

Раздел 9: § 9.2—9.9 (кроме пп. 9.2.1 и 9.2.25) — канд. техн. наук Е. П. Бойко; инж. А. М. Зайцев, кандидаты техн. наук Ф. К. Макаров, Н. И. Суворов; § 9.1, 9.11, 9.12 и пп. 9.2.1, 9.2.25, 9.10.6, 9.10.7 — канд. техн. наук Б. К. Клоков; § 9.10 (кроме пп. 9.10.6 и 9.10.7) — чл.-корр. АН СССР Я. Б. Данилевич.

Раздел 10: § 10.1 — канд. техн. наук Б. К. Клоков; § 10.2, 10.13 и 10.14 — доктор техн. наук В. А. Кожевников; § 10.3 — 10.12 — доктор техн. наук Б. Ф. Токарев.

РАЗДЕЛ I

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1. Основные типы и классификация электрических машин

Электрические машины — это электро-механические преобразователи, в которых осуществляется преобразование электрической энергии в механическую или механической в электрическую. Основное отличие электрических машин от других преобразователей в том, что они обратимы, т. е. одна и та же машина может работать в режиме двигателя, преобразуя электрическую энергию в механическую, и в режиме генератора, преобразуя механическую энергию в электрическую.

По виду создаваемого в машинах поля, в котором происходит преобразование энергии, электрические машины подразделяются на индуктивные, емкостные и индуктивно-емкостные. Современные широко применяемые в промышленности и других отраслях народного хозяйства электрические машины — индуктивные. Преобразование энергии в них осуществляется в магнитном поле. Емкостные электрические машины, хотя и были изобретены задолго до индуктивных, до сих пор не нашли практического применения из-за сложности создания достаточно мощного электрического поля, в котором происходит преобразование энергии. Индуктивно-емкостные машины появились лишь в последние годы. Преобразование энергии в них происходит в электромагнитном поле, и они объединяют свойства индуктивных и емкостных электрических машин. В практике эти машины еще не применяются, поэтому в данном Справочнике рассматриваются только индуктивные электрические машины, которые в дальнейшем будем называть просто электрическими машинами [12].

Для того чтобы электрическая машина работала, в ней должно быть создано вращающееся магнитное поле. Принцип образования вращающегося поля у всех машин один и тот же.

Простейшей электрической машиной является идеальная обобщенная электриче-

ская машина (рис. 1.1), т. е. машина симметричная, ненасыщенная, имеющая гладкий воздушный зазор. На статоре и роторе такой машины расположены по две обмотки: w_α^s и w_β^s на статоре, w_α^r и w_β^r на роторе, сдвинутые в пространстве относительно друг друга на электрический угол, равный 90° . Если к обмоткам статора или ротора такой машины подвести токи, сдвинутые во времени на электрический угол 90° , то в воздушном зазоре машины будет вращающееся круговое поле. При симметричном синусоидальном напряжении поле будет синусоидальное, так как идеальная машина не вносит в зазор пространственных гармоник. Все реальные электрические машины в той или иной степени отличаются от идеальной машины, так как в воздушном зазоре реальной машины нельзя получить синусоидальное поле.

Для того чтобы МДС, необходимая для создания магнитного поля, не была чрезмерно велика, статор и ротор электрической машины выполняют из ферромагнитного материала, магнитная проводимость которого во много раз больше, чем проводимость неферромагнитной среды ($\mu_{ст} \gg \mu_0$). При этом магнитные силовые линии поля замыкаются по магнитопроводу машины и практически не выходят за пределы ее активных

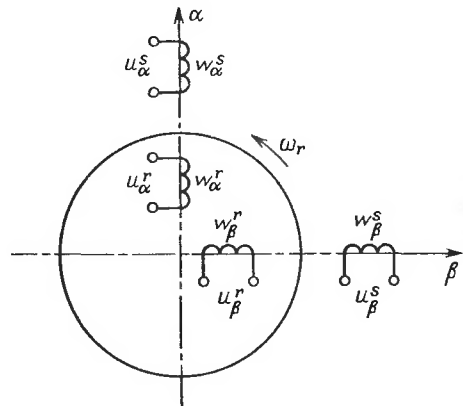


Рис. 1.1. Обобщенная электрическая машина

частей. Участки магнитопровода, в которых поток переменный, для уменьшения потерь на вихревые токи и гистерезис выполняют шихтованными из тонких листов электротехнической стали. Участки магнитопровода машин, в которых поток постоянный (например, полюсы и станины машин постоянного тока), могут быть выполнены массивными из конструкционной стали.

Непременным условием преобразования энергии является изменение потокоцепления обмоток в зависимости от взаимного положения ее частей — статора и ротора. Это условие может быть выполнено при различных вариантах конструктивных форм магнитопровода и при различных конструкциях и расположении обмоток (рис. 1.2, а—г). Тот или иной вариант выбирается в зависимости от рода питающего (или генерируемого) тока, наиболее удобного способа создания поля и типа машины. Для преобразования энергии в подавляющем большинстве электрических машин используется вращательное движение.

Электрические машины обычно выполняются с одной вращающейся частью — цилиндрическим ротором и неподвижной частью — статором. Такие машины называются *одномерными*. Они имеют одну степень свободы. Почти все выпускаемые промышленностью машины — одномерные с цилиндрическим вращающимся ротором и внешним неподвижным статором.

Электромагнитный момент в электрических машинах приложен к ротору, и к статору. Если дать возможность вращаться обоим частям машины, они будут перемещаться в противоположные стороны. У машин, в которых вращаются и ротор, и статор, две степени свободы. Это *двухмерные* машины. В навигационных приборах ротором может быть шар, который вращается относительно двух статоров, рас-

положенных под углом 90° . Такие машины имеют три степени свободы. В космической электромеханике встречаются шестимерные электромеханические системы, в которых и ротор, и статор имеют по три степени свободы.

Находят применение также электрические машины, в которых ротор (или и ротор, и статор) имеет форму диска. Такие машины называют *торцевыми*.

Электрические машины помимо вращательного могут иметь и возвратно-поступательное движение (линейные машины). В таких машинах статор и ротор разомкнуты и магнитное поле отражается от краев, что приводит к искажению поля в воздушном зазоре. Краевой эффект в линейных электрических машинах ухудшает их энергетические показатели. Низкие энергетические показатели ограничивают применение электрических машин с возвратно-поступательным движением. Из обычной машины с цилиндрическим статором и ротором получают машины с сегментным статором и линейные (рис. 1.3). Если увеличить диаметр ротора сегментной машины до бесконечности, получим *линейный двигатель* (рис. 1.3, б). Линейные двигатели постоянного и переменного тока находят применение в промышленности для получения линейных перемещений. В генераторном режиме линейные машины практически не применяются.

В большинстве типов электрических машин магнитное поле создается переменными токами обмоток статора и ротора. Однако существует класс машин, в которых поле создается постоянными токами обмоток, расположенных только на статоре. Преобразование энергии в них происходит за счет изменения магнитного потока в воздушном зазоре из-за изменения его проводимости при вращении ротора. Ротор в таких машинах имеет ярко выраженные зубцы, пе-

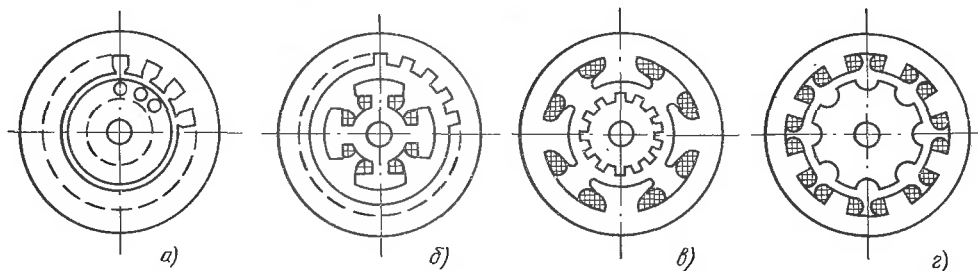


Рис. 1.2. Основные конструктивные исполнения электрических машин:

а — асинхронная; б — синхронная; в — коллекторная; г — индукторная

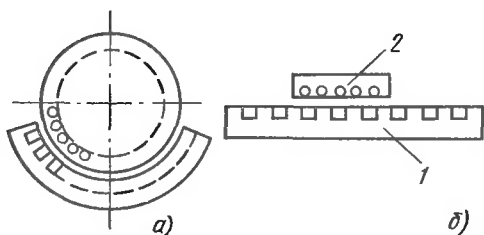


Рис. 1.3. Модификация конструктивного исполнения электрических машин:

а — машина с сегментным статором; б — линейный двигатель; 1 — статор; 2 — ротор

ременение которых относительно статора вызывает изменение магнитного сопротивления на участках зазора и потокоцепления обмотки статора. Такие машины называют параметрическими или индукторными. Конструктивные исполнения индукторных машин весьма разнообразны. Наибольшее распространение получила конструкция индукторной машины с двумя роторами 1 и статорами 2 (рис. 1.4). Если роторы сдвинуты относительно друг друга на электрический угол 90° , общее магнитное сопротивление машины во время вращения роторов не изменяется и в обмотке возбуждения 3, питающейся постоянным током, не наводится переменная составляющая напряжения. Обмотки на роторах отсутствуют. При работе машины с обмоток переменного тока 4, расположенных в пазах каждого статора, снимается напряжение. Поток возбуждения замыкается по корпусу статора и втулке ротора 5, насаженной на вал.

В зависимости от рода потребляемого или отдаваемого в сеть тока электрические машины подразделяются на машины переменного и постоянного тока. Машины переменного тока делятся на синхронные, асинхронные и коллекторные.

В синхронных машинах поле возбуждения создается обмоткой, расположен-

ной на роторе, которая питается постоянным током. Обмотка статора соединена с сетью переменного тока. В обычном исполнении машин вращающийся ротор с обмоткой возбуждения располагается внутри статора, а статор неподвижен. Обратная конструкция, при которой ротор с обмоткой возбуждения неподвижен, а вращается статор, в синхронных машинах встречается редко из-за сложности подвода тока к вращающейся обмотке переменного тока.

Ротор синхронной машины может быть явнополосным, т. е. с явно выраженными полюсами, имеющими ферромагнитные сердечники с насаженными на них многовитковыми катушками возбуждения. Роторы синхронных машин, рассчитанных на частоту вращения 1500 и 3000 об/мин и выше, обычно выполняются неявнополосными. При этом обмотка возбуждения укладывается в профрезерованные в роторе пазы. Обмотка переменного тока синхронных машин, как правило, распределенная, т. е. расположена равномерно по окружности внутреннего диаметра статора в пазах его магнитопровода.

В асинхронных машинах специальная обмотка возбуждения отсутствует, рабочий поток создается реактивной составляющей тока обмотки статора. Этим объясняется простота конструкции и обслуживания асинхронных двигателей, так как отсутствуют скользящие контакты для подвода тока к вращающейся обмотке возбуждения и отпадает необходимость в дополнительном источнике постоянного тока для возбуждения машины. Обмотки статоров и роторов асинхронных машин распределенные и размещены в пазах их магнитопроводов.

На роторах асинхронных машин располагается либо фазная, т. е. имеющая обычно столько же фаз, сколько и обмотка статора, изолированная от корпуса обмотка, либо короткозамкнутая. Короткозамкнутая обмотка ротора состоит из расположенных в пазах ротора замкнутых между собой по обоим торцам ротора неизолированных стержней

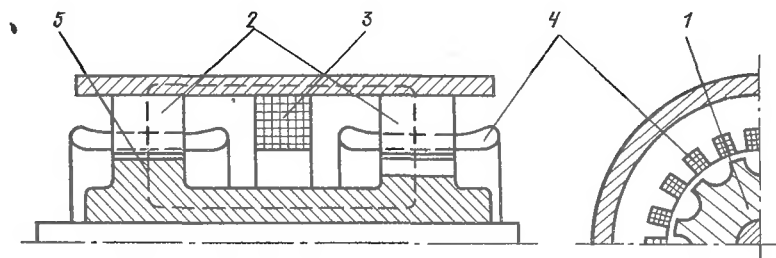


Рис. 1.4. Индукторная машина с двумя роторами

из проводникового материала. Она может быть также выполнена заливкой пазов алюминием. В зависимости от типа обмотки ротора различают асинхронные двигатели с фазными роторами или асинхронные двигатели с короткозамкнутыми роторами.

Нормальное исполнение асинхронных машин — с ротором, расположенным внутри статора. Однако для некоторых приводов, например привода транспортера, оказывается выгоднее расположить вращающийся ротор снаружи статора. Такие машины называют обращенными или машинами с внешним ротором. Они выполняются обычно с короткозамкнутыми роторами.

Среди коллекторных машин переменного тока получили распространение в основном однофазные двигатели малой мощности. Они находят применение в приводах, к которым подвод трехфазного или постоянного тока затруднен или нецелесообразен (в электрифицированном инструменте, бытовой технике и т. п.). В машинах средней и тем более большой мощности коллекторные машины переменного тока в настоящее время в СССР не применяются. Исключение составляют отдельные специальные машины, например машины типа двигателя Шраге—Рихтера.

Большинство машин постоянного тока — это коллекторные машины. Они выпускаются мощностью от долей ватта до нескольких тысяч киловатт. Обмотки возбуждения машин постоянного тока располагаются на главных полюсах, закрепленных на станине. Выводы секций обмотки ротора (якоря) впаяны в пластины коллектора. Коллектор, вращающийся на одном валу с якорем, и неподвижный щеточный аппарат служат для преобразования постоянного тока сети в переменный ток якоря (в двигателях) или переменного многофазного тока якоря в постоянный ток сети (в генераторах постоянного тока).

Конструкция машин постоянного тока более сложная, стоимость выше и эксплуатация более дорога, чем асинхронных, поэтому двигатели постоянного тока применяются в приводах, требующих широкого и плавного регулирования частоты вращения, или в автономных установках при питании двигателей от аккумуляторных батарей.

Подавляющее число машин постоянного тока выполняется с коллектором — механическим преобразователем частоты. Но существует несколько типов и бесколлекторных машин, например униполярные генераторы (рис. 1.5), которые используются для получения больших токов (до 100 кА) при низких

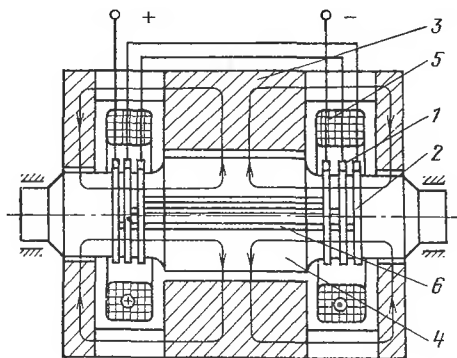


Рис. 1.5. Униполярная электрическая машина

напряжениях. В таких машинах коллектор отсутствует, но они могут работать только при наличии скользящего контакта, который состоит из щеток 1 и колец 2. Постоянный магнитный поток, созданный токами обмотки возбуждения 5, замыкается по станине 3, массивному ротору 4 и двум зазорам. Постоянные токи наводятся в массивном роторе и снимаются щетками. Чтобы уменьшить электрические потери в роторе, в нем делают пазы, в которые укладывают медные стержни 6. Стержни, приваренные к контактным кольцам, образуют на роторе короткозамкнутую обмотку.

В последние годы получили распространение также бесколлекторные машины постоянного тока с вентильным управлением, в которых механический преобразователь частоты заменен преобразователем частоты на полупроводниковых элементах [12, 23].

Более детальное описание конструктивных видоизменений электрических машин дается в последующих разделах справочника.

Несмотря на большое число различных типов электрических машин и независимо от их конструктивного исполнения, рода и числа фаз питающего тока и способов создания магнитных полей преобразование энергии в машинах происходит только при следующем условии: во всех электрических машинах в установившихся режимах поля статора и ротора неподвижны относительно друг друга. Поле ротора, которое создается токами, протекающими в обмотке ротора, вращается относительно ротора. При этом механическая частота вращения ротора и частота вращения поля относительно ротора в сумме равны частоте вращения поля статора, поэтому частоты токов в статоре и роторе жестко связаны соотношением

$$f_2 = f_1 s, \quad (1.1)$$

где f_1, f_2 — частоты тока и напряжения статора и ротора; s — относительная частота вращения ротора или скольжение, определяемое частотой вращения поля статора n_1 и частотой вращения ротора машины n_2 :

$$s = (n_1 \pm n_2)/n_1. \quad (1.2)$$

В синхронных машинах обмотка возбуждения ротора питается постоянным током ($f_2 = 0$), и, следовательно, из (1.1) $s = 0$, откуда по (1.2) $n = n_1$, т. е. ротор синхронной машины вращается синхронно с полем, созданным токами обмотки статора.

Жесткая связь частоты тока и частоты вращения определила область применения синхронных машин. Синхронные генераторы являются практически единственными мощными генераторами электрической энергии на электростанциях. Синхронные двигатели с учетом трудностей их пуска применяются как приводы промышленных установок, длительно работающих при постоянной частоте вращения и не требующих частых пусков, например как приводные двигатели воздушодувов, компрессоров и т. п.

В асинхронных машинах ток в обмотке ротора обусловлен ЭДС, наведенной в проводниках обмотки магнитным полем статора.

Наведение ЭДС происходит только при пересечении проводниками магнитных силовых линий поля, что возможно лишь при неравенстве частот вращения ротора и поля статора ($n_2 \neq n_1$). Частота тока в роторе равна $f_2 = f_1 s$, что обеспечивает взаимную неподвижность поля токов ротора и поля статора, а частота вращения ротора при этом равна $n_2 = n_1(1 - s)$. При скольжении $s = 1$ ротор неподвижен ($f_2 = f_1$), преобразования механической энергии не происходит и имеет место трансформаторный режим работы машины.

При питании обмотки ротора постоянным током машина переходит в синхронный режим работы. При питании ротора переменным током асинхронный двигатель может вращаться с частотой большей, чем частота поля статора. Такие режимы используются редко из-за сложности пуска машины: необходим разгонный двигатель либо преобразователь частоты. Примером двигателя этого типа являются двигатели Шраге—Рихтера, в которых для преобразования частоты тока ротора используется коллектор, соединенный с добавочной обмоткой ротора. Регулирование частоты вращения двигателя производится изменением добавочной ЭДС, вводимой в обмотку ротора,

путем изменения положения щеток на коллекторе [10].

В машинах постоянного тока поле возбуждения создается постоянным током, а поле якоря — переменным. Преобразование постоянного тока сети в многофазный переменный ток якоря происходит с помощью механического преобразователя — коллектора. Частота переменного тока якоря определяется частотой его вращения, и магнитное поле, создаваемое током якоря, неподвижно относительно поля возбуждения машины.

Бесколлекторные (вентильные) машины постоянного тока, как правило, обращенные, т. е. их обмотки возбуждения, питаемые постоянным током, расположены на вращающемся роторе, а якорные обмотки — на неподвижном статоре. Частота питания якорных обмоток задается статическим преобразователем частоты. Условие взаимной неподвижности полей статора и ротора приводит к возможности регулирования частоты вращения вала двигателя изменением частоты питания его якорных обмоток. С этой точки зрения вентильные машины постоянного тока могут рассматриваться как синхронные, обмотки переменного тока которых питаются от преобразователя частоты.

В однофазных коллекторных машинах обмотки возбуждения питаются переменным током и создают пульсирующее поле. Коллектор преобразует однофазный ток питания в многофазный переменный ток с частотой, зависящей от частоты вращения ротора, при которой магнитные поля статора и ротора неподвижны относительно друг друга. Из-за затрудненной коммутации коллекторные машины переменного тока выполняются лишь небольшой мощности [10].

1.2. Преобразование энергии в электрических машинах

Электромеханическое преобразование энергии сопровождается обязательным преобразованием электрической или механической энергии в тепловую. Преобразование энергии в тепло в электрических машинах принято называть потерями, так как тепловая энергия при эксплуатации электрических машин, как правило, не используется в практических целях. В электрических машинах большой мощности в тепло преобразуются единицы или даже доли процентов энергии, подводимой к электрическим выводам или валу машины. В машинах малой мощности в тепло может преобразовываться большая часть энергии, подводимой к машине, по-

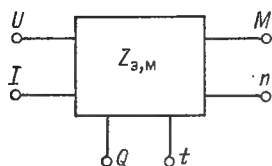


Рис. 1.6. Электрическая машина как шестиполусник

этому КПД машин малой мощности небольшой.

Для общего представления о работе машины как преобразователя энергии ее можно представить в виде шестиполусника (рис. 1.6), у которого есть два электрических вывода U , I , два механических вывода M , n и два тепловых Q , t . Электрические выводы связаны с электрической мощностью и характеризуются напряжением U и током I ; механические связаны с механической мощностью и характеризуются моментом на валу машины M и частотой ее вращения n ; тепловые выводы связаны с потерями энергии, возникающими в процессе преобразования, и характеризуются количеством выделенного тепла Q и температурой частей электрической машины t . Внутреннее сопротивление машины в самом общем случае можно охарактеризовать сопротивлением $Z_{э,м}$.

Работа электрической машины может происходить в двух основных режимах: установившемся и динамическом, или переходном. В установившемся режиме все входные величины на выходах шестиполусника, представляющего электрическую машину, и сопротивления самой машины неизменны во времени. В динамическом режиме обязательно изменяются одна, несколько или все входные величины и параметры машины. В связи с этим анализ работы машины в динамических режимах значительно более сложен, чем в установившихся.

При работе электрической машины генератором механическая энергия подводится к валу, т. е. к механическим выводам M , n (рис. 1.6), а электрическая энергия снимается с выводов U , I . При работе двигателя энергия подается на электрические выводы, а снимается с механических. Помимо двигательного или генераторного режима электрические машины могут работать также в тормозном и трансформаторном режимах.

Трансформаторный режим характерен для асинхронных машин с фазными

роторами. Он возникает при заторможенном (неподвижном) роторе и включении обмотки статора в сеть. Преобразования электрической энергии в механическую в этом режиме не происходит, так как частота вращения ротора равна нулю. Электрическая энергия, подводимая к статору, преобразуется в электрическую энергию, которая снимается с выводов роторной обмотки. В этом случае механические выводы рассматриваемого шестиполусника должны быть заменены на электрические.

Специально рассчитанные асинхронные машины могут длительное время работать в трансформаторном режиме. При различных положениях фазного ротора такой машины оси фаз обмотки ротора изменяют свое положение относительно обмотки статора, что вызывает изменение амплитуды и фазы напряжения на обмотке ротора. Этот принцип регулирования используется в индукционных регуляторах и фазорегуляторах, получивших распространение в различных схемах регулирования, например в испытательных установках большой мощности.

В тормозном режиме направление вращения ротора обратно направлению вращения поля. При этом машина потребляет как электрическую энергию со стороны электрических выводов, так и механическую энергию со стороны механических выводов шестиполусника (рис. 1.6). Вся потребляемая энергия преобразуется в тепловую и расходуется внутри машины на нагрев ее частей, а также рассеивается в окружающую среду. Тормозные режимы — самые тяжелые с точки зрения нагрева частей электрической машины, поэтому большинство электрических машин рассчитано лишь на кратковременную работу в тормозных режимах.

Различают два вида электрического торможения: динамическое и рекуперативное. При динамическом торможении, применяемом, например, в двигателе постоянного тока, якорь машины отключается от сети и включается на резистор при оставшейся включенной обмотке возбуждения. Машина работает как генератор постоянного тока, потребляя механическую энергию вращающихся частей и генерируя электрическую энергию, которая расходуется на нагрев включенного резистора.

При рекуперативном торможении двигатель также переходит в генераторный режим и генерируемая энергия отдается в сеть. Рекуперативное торможение характерно для асинхронных двигателей, например для двигателей приводов лифтов, в ко-

торых путем переключения во время работы машины статорной обмотки на большее число полюсов уменьшается частота вращения поля. Ротор по инерции некоторое время продолжает вращаться с прежней частотой, большей, чем частота вращения поля после переключения числа полюсов обмотки. В это время машина работает в генераторном режиме и отдает электрическую энергию в сеть, потребляя кинетическую энергию движущихся частей приводного механизма. При замедлении частоты вращения ротора до частоты ниже синхронной машина опять переходит в двигательный режим и работает с частотой вращения, соответствующей новому числу полюсов обмотки статора.

Для синхронных машин важным является режим синхронного компенсатора, при котором активная электрическая мощность, получаемая из сети, расходуется только на потери внутри машины, а синхронная машина генерирует или потребляет из сети реактивную мощность. В компенсаторном режиме могут работать все синхронные машины, однако для практического использования производят специальный тип машин — синхронные компенсаторы, в которых генерирование или потребление реактивной мощности происходит с наименьшими потерями активной энергии.

По характеру нагрузки и частоте вращения ротора различают также режимы нагрузки, холостого хода и короткого замыкания машины. Термины и определения, относящиеся к режиму нагрузки, в том числе номинальной, даны в § 1.5.

При холостом ходе нагрузка на валу в двигательном режиме или электрическая мощность на выводах в генераторном режиме равна нулю. В режиме, близком к холостому ходу, работают многие электрические машины, в том числе и целый класс индикаторных машин, к которым относятся тахогенераторы, вращающиеся трансформаторы, сельсины и т. п.

В режиме короткого замыкания генераторов сопротивление нагрузки равно нулю. В режиме короткого замыкания двигателей равна нулю частота вращения. Режим короткого замыкания характерен для начального момента пуска двигателя из неподвижного состояния. При включении обмотки статора на номинальное напряжение ток двигателя достигает больших значений, поэтому длительный режим короткого замыкания опасен для машин, не рассчитанных на работу при таких условиях. Короткое замыкание двигателей и генераторов, проводимое при пониженном напряжении, используется

при испытаниях электрических машин для опытного определения ряда их параметров.

1.3. Математические модели электрических машин

Математическая модель электрической машины — это система уравнений, описывающих процессы электромеханического преобразования энергии с допущениями, обеспечивающими необходимую точность решения для рассматриваемой задачи. Математические модели электрических машин широко используются для исследования электромеханических систем благодаря применению аналоговых и цифровых вычислительных машин. В настоящее время созданы модели, позволяющие исследовать практически любые задачи, встречающиеся в электромашиностроении [12, 13].

Несмотря на бесконечное конструктивное разнообразие индуктивных электрических машин все электрические машины с круговым полем в воздушном зазоре можно свести к обобщенной электрической машине (см. рис. 1.1). Обобщенная электрическая машина — это идеализированная двухполюсная машина с двумя парами обмоток на статоре и роторе. В ней энергия магнитного поля сосредоточена в воздушном зазоре и поле синусоидальное. В воздушном зазоре обобщенной машины вращающееся магнитное поле может создаваться обмотками статора и ротора. Напряжения статора или ротора создают сдвинутые во времени токи, а за счет пространственного сдвига обмоток в зазоре создается вращающееся поле.

Машины постоянного тока получаются из модели обобщенной электрической машины, если обмотки ротора или статора питать через преобразователь частоты.

В машинах постоянного тока преобразователем частоты является механический преобразователь частоты — коллектор. Постоянный ток преобразуется в многофазный переменный ток, который создает вращающееся поле, неподвижное относительно обмотки возбуждения, расположенной на статоре.

Как в машинах переменного, так и в машинах постоянного тока многофазная симметричная обмотка приводится к двухфазной, которая и рассматривается в обобщенной электрической машине (рис. 1.1). Процессы преобразования энергии в многополюсных машинах приводятся к процессам в двухполюсной машине.

Уравнения обобщенной электрической

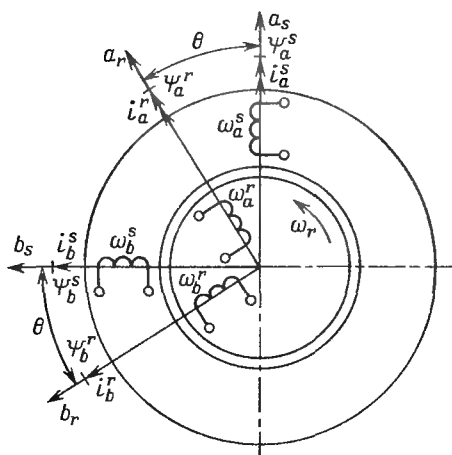


Рис. 1.7. Модель двухфазной машины в не-преобразованной системе координат

машины были предложены Г. Кроном в 30-х годах, и в последние десятилетия теория обобщенной машины получила дальнейшее развитие в работах советских и зарубежных ученых [13].

Дифференциальные уравнения, описывающие переходные и установившиеся процессы в обобщенной машине в естественных или фазовых непреобразованных координатах (рис. 1.7), имеют вид

$$\left. \begin{aligned} u_a^s &= i_a^s r_a^s + d\Psi_a^s/dt; \\ u_b^s &= i_b^s r_b^s + d\Psi_b^s/dt; \\ -u_a^r &= i_a^r r_a^r + d\Psi_a^r/dt; \\ -u_b^r &= i_b^r r_b^r + d\Psi_b^r/dt. \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

В (1.3) потокосцепления обмоток

$$\left. \begin{aligned} \Psi_a^s &= L_{aa}^s i_a^s + M(\cos \theta) i_a^r + M(\sin \theta) i_b^r; \\ \Psi_b^s &= L_{bb}^s i_b^s + M(\cos \theta) i_b^r - M(\sin \theta) i_a^r; \\ \Psi_a^r &= L_{aa}^r i_a^r + M(\cos \theta) i_a^s - M(\sin \theta) i_b^s; \\ \Psi_b^r &= L_{bb}^r i_b^r + M(\cos \theta) i_b^s + M(\sin \theta) i_a^s. \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

В (1.3) и (1.4) $u_a^s, u_b^s, u_a^r, u_b^r$ — напряжения на обмотках статора и ротора; $i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r$ — токи в обмотках статора и ротора; $r_a^s, r_b^s, r_a^r, r_b^r$ — активные сопротивления обмоток статора и ротора; $L_{aa}^s, L_{bb}^s, L_{aa}^r, L_{bb}^r$ — индуктивности обмоток статора и ротора; M — взаимная индуктивность между обмотками статора и ротора; θ — угол между осями обмоток статора и ротора.

Если подставить (1.4) в (1.3), получатся громоздкие уравнения с периодическими коэффициентами. Для упрощения уравнений электромеханического преобразования энергии рассматривается псевдонеполюсная машина, в которой в обмотки ротора вводится ЭДС вращения. При этом в неподвижной и вращающейся машинах токи, активная и реактивные мощности остаются неизменными.

В неподвижной системе координат α, β уравнения обобщенной машины, выраженные через потокосцепления, выглядят следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} u_\alpha^s &= i_\alpha^s r_\alpha^s + \frac{d\Psi_\alpha^s}{dt}; \\ u_\beta^s &= i_\beta^s r_\beta^s + \frac{d\Psi_\beta^s}{dt}; \\ u_\alpha^r &= i_\alpha^r r_\alpha^r + \frac{d\Psi_\alpha^r}{dt} + \omega_r \Psi_\beta^r; \\ u_\beta^r &= i_\beta^r r_\beta^r + \frac{d\Psi_\beta^r}{dt} - \omega_r \Psi_\alpha^r. \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

Подставляя в (1.5) значения потокосцеплений

$$\left. \begin{aligned} \Psi_\alpha^s &= L_\alpha^s i_\alpha^s + M i_\alpha^r; \\ \Psi_\beta^s &= L_\beta^s i_\beta^s + M i_\beta^r; \\ \Psi_\alpha^r &= L_\alpha^r i_\alpha^r + M i_\alpha^s; \\ \Psi_\beta^r &= L_\beta^r i_\beta^r + M i_\beta^s, \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

получаем выраженные через токи уравнения напряжений для машины, которые удобно записывать в матричной форме:

$$\begin{pmatrix} u_\alpha^s \\ u_\alpha^r \\ u_\beta^s \\ u_\beta^r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_\alpha^s + \frac{d}{dt} L_\alpha^s & \frac{d}{dt} M & 0 & 0 \\ \frac{d}{dt} M & r_\alpha^r + \frac{d}{dt} L_\alpha^r & L_\beta^r \omega_r & M \omega_r \\ -M \omega_r & -L_\alpha^r \omega_r & r_\beta^r + \frac{d}{dt} L_\beta^r & \frac{d}{dt} M \\ 0 & 0 & \frac{d}{dt} M & r_\beta^s + \frac{d}{dt} L_\beta^s \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i_\alpha^s \\ i_\alpha^r \\ i_\beta^s \\ i_\beta^r \end{pmatrix} \quad (1.7)$$

В (1.5)–(1.7) $u_\alpha^s, u_\beta^s, i_\alpha^r, i_\beta^r, i_\alpha^s, i_\beta^s, i_\alpha^r, i_\beta^r$ — соответственно напряжения и токи в обмотках статора и ротора по осям α и β ; $r_\alpha^s, r_\beta^s, r_\alpha^r, r_\beta^r$ — активные сопротивления обмоток статора и ротора; M — взаимная индуктивность; $L_\alpha^s, L_\beta^s, L_\alpha^r, L_\beta^r$ — полные индуктивности обмоток статора и ротора по осям α и β ; ω_r — угловая скорость ротора.

Индуктивности обмоток определяются по известным соотношениям

$$L_\alpha^s = M + l_\alpha^s; \quad L_\beta^s = M + l_\beta^s, \quad (1.8)$$

где $l_\alpha^s, l_\beta^s, l_\alpha^r, l_\beta^r$ — индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора по осям α и β .

Активные сопротивления и индуктивности в (1.7) относятся к фазе машины и определяются расчетным и опытным путем.

Применяя преобразования координат при инвариантной мощности, получают уравнения в других координатах [12].

Процессы преобразования энергии в переходных процессах описываются уравнениями напряжений (1.5) или (1.7) и уравнением движения

$$M_3 = \frac{1}{p} J \frac{d\omega_r}{dt} \pm M_c, \quad (1.9)$$

где M_3 — электромагнитный вращающий момент — момент, создаваемый машиной; M_c — момент сопротивления с учетом момента трения; p — число пар полюсов; J — момент инерции.

Вращающий момент

$$M_3 = \frac{m}{2} M (i_\beta^s i_\alpha^r - i_\alpha^s i_\beta^r), \quad (1.10)$$

где m — число фаз.

Вращающий момент может быть выражен:

через потокосцепления (1.6):

$$M_3 = \frac{m}{2} \frac{M}{L^s L^r - M^2} (\Psi_\beta^s \Psi_\alpha^r - \Psi_\alpha^s \Psi_\beta^r), \quad (1.11)$$

через потокосцепления и токи статора:

$$M_3 = \frac{m}{2} (\Psi_\alpha^s i_\beta^s - \Psi_\beta^s i_\alpha^s), \quad (1.12)$$

через потокосцепления и токи ротора:

$$M_3 = \frac{m}{2} (\Psi_\alpha^r i_\beta^r - \Psi_\beta^r i_\alpha^r). \quad (1.13)$$

Справедливость (1.11)–(1.13) подтверждается, если в (1.10) подставить значения потокосцеплений и токов из (1.6). Вращающий момент после преобразований (1.10)–(1.13)

может иметь и другой вид. Вращающий момент можно определить также через намагничивающие токи и через изменение энергии магнитного поля или из выражения вектора Пойнтинга [12, 13].

При круговом поле в воздушном зазоре наращивание сложности уравнений происходит при учете нелинейностей параметров и учете нескольких контуров на статоре и роторе.

Уравнения электромеханического преобразования энергии усложняются при наличии двух полей в воздушном зазоре машины. При эллиптическом поле система уравнений электромеханического преобразования энергии состоит из восьми уравнений напряжения и уравнения электромагнитного момента с четырьмя парами произведений токов в обмотках статора и ротора. Число уравнений увеличивается при учете контуров с токами на статоре и роторе. Учет нескольких полей и контуров на статоре и роторе приводит к системе с несколькими десятками уравнений. Наиболее простая система уравнений — система уравнений третьего порядка — получается, если использовать описание процессов преобразования энергии через обобщенные векторы [13]:

$$\left. \begin{aligned} U^s &= R^s \bar{I}^s + \frac{d\bar{\Psi}^s}{dt}; \\ \bar{U}^r &= R^r \bar{I}^r + \frac{d\bar{\Psi}^r}{dt} - j\omega_r \bar{\Psi}^r. \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

Система уравнений (1.14) и уравнение движения (1.9) описывают динамические и статические характеристики электрической машины.

Уравнения установившегося режима получаются из дифференциальных уравнений путем замены в уравнениях электромеханического преобразования энергии оператора дифференцирования:

$$d/dt \rightarrow j\omega.$$

В установившемся режиме уравнения напряжений и уравнение движения могут рассматриваться независимо друг от друга. Простейшие уравнения в установившемся режиме получаются из схем замещения электрических машин и упрощенных уравнений, на базе которых строятся векторные диаграммы. Математические модели для различных типов электрических машин в установившихся режимах весьма разнообразны и описаны подробно в [5, 10, 12].

Круговое поле в воздушном зазоре мо-

жет быть только в идеализированной машине. В воздушном зазоре реальной электрической машины имеется бесконечный производный спектр гармоник поля, состоящий из временных и пространственных гармоник. Высшие гармоники в воздушном зазоре машины появляются за счет несинусоидальности напряжений, несинусоидального распределения МДС, неравномерности зазора, насыщения и других причин.

Наиболее общей математической моделью, позволяющей записать уравнения для бесконечного спектра гармоник и любого числа контуров на статоре и роторе, является модель обобщенного электрохимического преобразователя — двухфазной электрической машины с m обмотками на статоре и n обмотками на роторе (рис. 1.8).

Модель обобщенного электрохимического преобразователя дает возможность записать уравнения при наличии высших гармоник в воздушном зазоре и нескольких контуров на статоре и роторе.

Для обобщенного электрохимического преобразователя записываются уравнения в матричной форме:

$$U = ZI; \quad M_s = M^T I^T. \quad (1.15)$$

В (1.15) входят столбцовые субматрицы напряжений и токов с m , n числом напряжений и токов. В матрицу сопротивлений Z входят 12 сложных субматриц сопротивлений [12, 13].

Электромагнитный момент определяет-

ся произведениями всех токов, протекающих в обмотках статора и ротора обобщенного электрохимического преобразователя (1.15).

Современные ЭВМ позволяют решать в течение нескольких минут 30—40 уравнений, составленных на основе модели обобщенного электрохимического преобразователя. Это обеспечивает учет трех-четырёх гармоник в воздушном зазоре и двух-трех контуров на статоре и роторе.

При исследовании электрических машин используются также уравнения, составленные на базе уравнений теории поля. Они дают возможность решать многие задачи статики. Однако при решении задач динамики уравнения обобщенного электрохимического преобразователя имеют большие преимущества. Развитие теории электрических машин долгое время шло по пути применения отдельно уравнений поля и теории цепей, тогда как наиболее плодотворным является их сочетание в математической модели [13].

Развитие современной теории электрохимического преобразования энергии позволяет составить математическое описание процессов преобразования энергии для любого случая, встречающегося в практике современного электромашиностроения. Квалификация инженера-электрохимика во многом определяется умением упростить математическую модель без потери необходимой точности и возможности решения поставленной задачи в кратчайшие сроки с помощью имеющейся вычислительной техники.

1.4. Параметры электрических машин

Параметры электрических машин — это коэффициенты перед независимыми переменными в уравнениях электрохимического преобразования энергии. Как правило, параметрами являются активные сопротивления, взаимные индуктивности, индуктивности рассеяния и полные индуктивности обмоток. Параметром машины является также момент инерции.

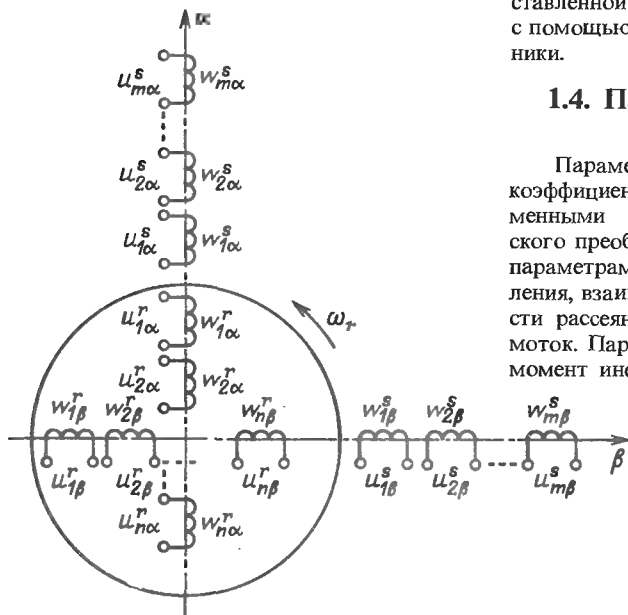


Рис. 1.8. Математическая модель обобщенного электрохимического преобразователя

Активные сопротивления фазы статора r_1 и ротора r_2 определяются по формуле

$$r = \rho_v \frac{L}{q_{\text{пр}}} k_r, \quad (1.16)$$

где L — длина проводников; $q_{\text{пр}}$ — поперечное сечение проводников; ρ_v — удельное сопротивление материала проводника; k_r — коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления за счет неравномерного распределения тока по сечению проводников.

Удельное сопротивление материала проводника зависит от температуры, поэтому сопротивление приводится к расчетной температуре, согласно ГОСТ 183-74 равной 75°C при классах нагревостойкости изоляции машин А, Е и В и 115°C при классах F и H.

При определении сопротивления короткозамкнутых обмоток считают, что число фаз короткозамкнутого ротора m_2 равно числу стержней, т. е. $m_2 = z_2$, и равно числу пазов.

Полную индуктивность обмотки, например для фазы А, можно определить через потокоцепление и ток:

$$L_A = \frac{\Psi_{Am}}{I_A} = \frac{4\pi\mu_0}{p\pi^2} (w_1 k_{\text{об1}})^2 \frac{\tau l_\delta}{\delta k_\delta}, \quad (1.17)$$

где

$$\Psi_{Am} = w_1 k_{\text{об1}} \Phi_{1m} = \frac{2}{\pi} \tau l_\delta w_1 k_{\text{об1}} B_{1m};$$

τ — полюсное деление; l_δ — расчетная длина машины; w_1 — число витков фазы; $k_{\text{об1}}$ — обмоточный коэффициент первой гармоники; B_{1m} — амплитудное значение индукции по первой гармонике; δ — воздушный зазор; μ_0 — магнитная проницаемость воздуха; k_δ — коэффициент воздушного зазора.

Взаимная индуктивность для многофазной обмотки

$$M = \frac{m_1}{2} L_A = \frac{2m_1\mu_0}{p\pi^2} (w_1 k_{\text{об1}})^2 \frac{\tau l_\delta}{\delta k_\delta}, \quad (1.18)$$

для трехфазной обмотки

$$M = \frac{3}{2} L_A = \frac{6\mu_0}{p\pi} (w_1 k_{\text{об1}})^2 \frac{\tau l_\delta}{\delta k_\delta}. \quad (1.19)$$

Индуктивность рассеяния

$$L_\sigma = 2\mu_0 w^2 \frac{l_\delta}{pq} \lambda_\sigma, \quad (1.20)$$

где λ_σ — коэффициент проводимости, равный сумме пазового, лобового и дифференциального рассеяния, $\lambda_\sigma = \lambda_\pi + \lambda_\lambda + \lambda_\Delta$. Значения коэффициентов проводимости приводятся в [18].

Зная индуктивности обмоток, определяют их индуктивные сопротивления. Индуктивное сопротивление между обмотками статора и ротора

$$\begin{aligned} x_{12} &= \omega_1 M = 2\pi f_1 \frac{2m_1\mu_0}{p\pi^2} (w_1 k_{\text{об1}})^2 \frac{\tau l_\delta}{\delta k_\delta} = \\ &= \frac{4m_1 f_1}{\pi} \frac{\mu_0 \tau l_\delta}{k_\delta \delta} \frac{w_1^2 k_{\text{об1}}^2}{p}. \end{aligned} \quad (1.21)$$

В явнополусных машинах индуктивные сопротивления по продольной и поперечной осям отличаются друг от друга.

Индуктивное сопротивление по продольной оси

$$x_d = x_{\sigma d} + x_{ad}, \quad (1.22)$$

где $x_{\sigma d}$ — индуктивное сопротивление рассеяния обмотки якоря; x_{ad} — индуктивное сопротивление реакции якоря по продольной оси:

$$x_{ad} = 2\pi f \frac{\Psi_{ad}}{\sqrt{2} I_d} = \frac{4\mu_0}{\pi p} m_1 f_1 (w_1 k_{\text{об1}})^2 \lambda_{ad}, \quad (1.23)$$

где λ_{ad} — коэффициент проводимости зазора по продольной оси,

$$\lambda_{ad} = k_d \frac{\tau l_\delta}{k_\delta \delta}, \quad (1.24)$$

здесь k_d — коэффициент формы поля по продольной оси.

Индуктивное сопротивление по поперечной оси

$$x_q = x_{\sigma q} + x_{aq}, \quad (1.25)$$

где x_{aq} — индуктивное сопротивление реакции якоря по поперечной оси:

$$\begin{aligned} x_{aq} &= 2\pi f L_{aq} = 2\pi f_1 \frac{\Psi_{aq}}{\sqrt{2} I_q} = \\ &= \frac{4\mu_0}{\pi p} m_1 f_1 (w_1 k_{\text{об1}})^2 \lambda_{aq}; \end{aligned} \quad (1.26)$$

здесь λ_{aq} — коэффициент проводимости зазора по поперечной оси:

$$\lambda_{aq} = k_q \frac{\tau l_\delta}{k_\delta \delta} = k_q \lambda_\delta, \quad (1.27)$$

где k_q — коэффициент формы поля по поперечной оси.

Так как зазор по поперечной оси больше

зазора по продольной оси, $x_{aq} < x_{ad}$. В обычных синхронных машинах $k_d \approx 0,85 \div 0,9$, а $k_q \approx 0,5$.

Момент инерции J является мерой инертности тела и влияет на динамические характеристики машины. Момент инерции вращающегося тела равен сумме произведений масс всех его точек на квадраты их расстояний от оси вращения.

В переходных процессах * индуктивные сопротивления из-за насыщения изменяются, поэтому при исследовании динамики нельзя использовать параметры установившегося режима. Это в основном относится к индуктивностям, так как активные сопротивления и момент инерции обычно в переходных процессах не изменяются.

В синхронных машинах первый момент переходного процесса характеризуется сверхпереходными и переходными сопротивлениями. Если машина имеет демпферную обмотку, в переходном процессе она характеризуется сверхпереходными сопротивлениями по продольной и поперечной осям x_d'' и x_q'' . Машины, не имеющие демпферной обмотки, характеризуются переходными сопротивлениями x_d' и x_q' . При этом $x_d'' < x_d' < x_d$, а $x_q'' < x_q'$. Значения сверхпереходных и переходных сопротивлений приводятся в каталогах и таблицах для синхронных машин.

Для асинхронных машин, так же как и для синхронных, необходимо для исследования переходных процессов пользоваться переходными сопротивлениями. Однако переходные сопротивления или индуктивности до сих пор в каталогах и таблицах не приводятся. Чтобы получить значения переходных и взаимных индуктивностей, следует взаимные и полные индуктивности в установившемся режиме уменьшить в 1,5–2 раза.

Более точное значение переходных индуктивностей может быть найдено из решения уравнений динамики асинхронных двигателей. Если известны ударные моменты и время переходного процесса, методом итераций могут быть определены значения переходных сопротивлений

$$x_1' = 2\pi f L_1'; \quad x_{12}' = 2\pi f M', \quad (1.28)$$

где L_1' — переходная полная индуктивность обмотки статора; M' — переходная взаимная индуктивность асинхронной машины.

При несимметричных режимах рассматривают параметры обратной и нулевой последовательностей.

Сопротивление обратной последовательности

$$\underline{z}_2 = r_2 + j\underline{x}_2, \quad (1.29)$$

где r_2 , x_2 — активное и индуктивное сопротивления обратной последовательности.

Сопротивление нулевой последовательности

$$\underline{z}_0 = r_0 + j\underline{x}_0; \quad (1.30)$$

здесь r_0 , x_0 — активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности.

Параметры машины определяют эксплуатационные показатели электроприводов. Удобно сравнивать электрические машины, если параметры выражены в относительных единицах:

$$r_* = r I_{\phi, \text{ном}} / U_{\phi, \text{ном}}; \quad x_* = x I_{\phi, \text{ном}} / U_{\phi, \text{ном}}; \\ z_* = z I_{\phi, \text{ном}} / U_{\phi, \text{ном}}, \quad (1.31)$$

где $I_{\phi, \text{ном}}$, $U_{\phi, \text{ном}}$ — соответственно номинальные значения фазных токов и напряжений; r , x , z — соответственно абсолютные значения активных, индуктивных и полных сопротивлений.

В дальнейшем для упрощения записи индекс * в обозначениях относительных параметров опускается.

1.5. Термины и определения

Большое разнообразие типов и конструкций электрических машин и потребность в объективной оценке и сравнении их данных привели к необходимости стандартизации основных понятий в области характеристик, расчетных параметров и режимов работы машин. Термины и определения этих величин установлены несколькими ГОСТ и являются обязательными для применения в документации всех видов, учебниках, учебных пособиях, технической и справочной литературе. Стандарты содержат более 200 терминов и определений. В настоящем параграфе приводятся основные из них, относящиеся ко всем или ко многим типам вращающихся электрических машин независимо от их назначения и конструктивного исполнения.

Номинальными данными электрической машины называют данные, характеризующие ее работу в режиме, для которого она предназначена заводом-изготовителем. К номинальным данным относятся мощность, напряжение, ток, частота, КПД, коэффициент мощности, частота вращения и ряд других данных в зависимости от типа и назначения машины.

Номинальные данные характеризуют работу машины, установленной на высоте до 1000 м над уровнем моря, при температуре окружающей среды 40°C и охлаждающей воды 30°C, если в стандартах или техниче-

ских условиях на данный конкретный тип машины не установлена другая температура охлаждающих сред. Если машина работает в условиях, отличающихся от указанных, ее номинальные данные должны быть изменены так, чтобы нагрев машины соответствовал требованиям ГОСТ 183-74.

Режим работы электрической машины — установленный порядок чередования и продолжительности нагрузки, холостого хода, торможения, пуска и реверса машины во время ее работы. Номинальным режимом работы называется режим, для работы в котором электрическая машина предназначена заводом-изготовителем.

Номинальная мощность — мощность, для работы с которой в номинальном режиме машина предназначена заводом-изготовителем. Для различных типов машин номинальной мощностью является:

для генераторов переменного тока — полная электрическая мощность на выводах при номинальном коэффициенте мощности, В·А;

для генераторов постоянного тока — электрическая мощность на выводах машины, Вт;

для двигателей переменного и постоянного тока — механическая мощность на валу, Вт;

для синхронных и асинхронных компенсаторов — реактивная мощность на выводах компенсатора, вар.

Номинальное напряжение — напряжение, на которое машина рассчитана заводом-изготовителем для работы в номинальном режиме с номинальной мощностью. Номинальным напряжением трехфазных машин называют линейное напряжение, т. е. напряжение между фазами подключенной к машине сети. Номинальным напряжением ротора асинхронного двигателя с трехфазной обмоткой называют напряжение на выводах разомкнутой обмотки ротора (напряжение на контактных кольцах) при неподвижном роторе и включенной на номинальное напряжение обмотке статора. Номинальным напряжением двухфазной обмотки ротора называют наибольшее из напряжений между контактными кольцами. Номинальным напряжением возбуждательной системы машины с независимым возбуждением называют номинальное напряжение того независимого источника, от которого получается возбуждение.

Номинальный ток — ток, соответствующий работе машины в номинальном режиме с номинальной мощностью и частотой вращения при номинальном напряжении.

Номинальное напряжение возбуждения — напряжение на выводах (или контактных кольцах) обмотки возбуждения с учетом падения напряжения под щетками при питании ее номинальным током возбуждения, когда активное сопротивление приведено к расчетной рабочей температуре, при работе машины в номинальном режиме с номинальными мощностью, напряжением и частотой вращения.

Номинальный ток возбуждения — ток возбуждения, соответствующий работе машины в номинальном режиме с номинальной мощностью и частотой вращения при номинальном напряжении.

Номинальная частота вращения — частота вращения, соответствующая работе машины при номинальных напряжении, мощности и частоте тока и номинальных условиях применения.

Номинальные условия применения — условия, установленные в стандарте или технических условиях на данный конкретный тип машины, при которых эта машина должна иметь номинальную частоту вращения.

Коэффициент полезного действия — отношение полезной (отдаваемой) мощности к затрачиваемой (подводимой); для генераторов — отношение активной электрической мощности, отдаваемой в сеть, к затрачиваемой механической мощности; для двигателей — отношение полезной механической мощности на валу к активной подводимой электрической мощности. Номинальным КПД называют указанное отношение мощностей при работе машины с номинальными мощностью, напряжением, частотой тока и частотой вращения.

Коэффициент мощности машин переменного тока: для генераторов — отношение отдаваемой активной электрической мощности, Вт, к полной отдаваемой электрической мощности, В·А; для двигателей — отношение активной потребляемой электрической мощности, Вт, к полной потребляемой электрической мощности, В·А. Номинальным коэффициентом мощности электрической машины называют указанное отношение мощностей при работе машины в номинальном режиме, с номинальными мощностью, напряжением, частотой тока и частотой вращения.

Помимо перечисленных определений номинальных данных стандартами установлены основные определения, относящиеся к условиям работы машины и ее характеристикам.

Нагрузка — мощность, которую развивает электрическая машина в данный мо-

мент времени. Нагрузка может быть выражена в единицах активной или полной мощности (Вт, или В·А) либо в долях номинальной мощности. Она также выражается током, потребляемым или отдаваемым электрической машиной, А, либо в процентах или долях номинального тока. Номинальная нагрузка — нагрузка, равная номинальной мощности машины.

Практически неизменная нагрузка — нагрузка, при которой отклонение тока и напряжения якоря и мощности машины от значений, соответствующих заданному режиму, составляет не более 3%, тока возбуждения и частоты не более 1%.

Практически симметричная трехфазная система напряжений — трехфазная система напряжений, в которой напряжение обратной последовательности не превышает 1% напряжения прямой последовательности при разложении данной трехфазной системы на системы прямой и обратной последовательностей.

Практически симметричная система токов — трехфазная система, для которой ток обратной последовательности не превышает 5% тока прямой последовательности.

Начальный пусковой ток электродвигателя — установившийся ток в обмотке электродвигателя при неподвижном роторе, номинальном подведенном напряжении и номинальной частоте, при соединении обмоток машины, соответствующем номинальным условиям работы двигателя.

Начальный пусковой момент электродвигателя — вращающий момент электродвигателя, развиваемый при неподвижном роторе, установившемся токе, номинальном подведенном напряжении, номинальной частоте и соединении обмоток, соответствующем номинальным условиям работы двигателя.

Максимальный вращающий момент электродвигателя переменного тока — наибольший момент вращения, развиваемый двигателем в установившемся режиме при номинальных напряжении и частоте, при соединении обмоток, соответствующем номинальным условиям работы, и (для синхронных двигателей) при номинальном токе возбуждения.

Минимальный вращающий момент асинхронного двигателя — наименьший вращающий момент, развиваемый асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором в процессе разгона от неподвижного состояния до частоты вращения, соответствующей максимальному моменту при номинальных напряжении и частоте, при соединении обмоток, соответствующем номинальным усло-

виям работы двигателя или пусковому режиму (для однофазных двигателей с пусковой обмоткой).

Критическое скольжение асинхронной машины — скольжение, при котором асинхронная машина развивает максимальный вращающий момент.

Номинальное изменение напряжения электрических генераторов — изменение напряжения на выводах генератора, работающего на автономную сеть с неизменной и равной номинальной частотой вращения при изменении его нагрузки от номинальной до холостого хода. Для генераторов с независимым возбуждением, кроме того, — при сохранении номинального тока возбуждения, а для генераторов с самовозбуждением — при неизменном сопротивлении всей цепи обмотки возбуждения. Номинальное изменение напряжения выражают в процентах или в долях номинального напряжения генератора.

Номинальное изменение частоты вращения электродвигателя — изменение частоты вращения двигателя, работающего при номинальном напряжении на его выводах и номинальной частоте тока, при изменении нагрузки от номинальной до нулевой, а для двигателей, не допускающих нулевой нагрузки, — от номинальной до $\frac{1}{4}$ номинальной. Номинальное изменение частоты вращения выражают в процентах или в долях номинальной частоты вращения.

Другие термины и определения, установленные ГОСТ, а также принятые в технической литературе и относящиеся к отдельным типам электрических машин, будут приводиться в соответствующих разделах Справочника.

1.6. Надежность электрических машин

1.6.1. Основные понятия

По ГОСТ 27.002-83 *надежность* определяется как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и в условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Для электрических машин, как и для других объектов, имеют важное значение следующие определения:

Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное со-

стояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Долговечность — свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтопригодность — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Сохраняемость — свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтопригодности в течение и после хранения и транспортирования.

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта, т. е. в переходе в неработоспособное состояние. При оценке надежности электрических машин необходимо заранее оговорить, какое состояние считается неработоспособным. По характеру возникновения различают отказы внезапные, характеризующиеся скачкообразным изменением одного или нескольких параметров объекта, и отказы постепенные, характеризующиеся постепенным изменением значений одного или нескольких заданных параметров объекта. Внезапные отказы обычно проявляются в виде повреждений элементов (обрывы, пробой изоляции, образование трещин, поломки). Постепенные отказы связаны с износом и старением элементов и материалов (износ щеток, старение изоляции, износ коллектора и др.). По условиям создания и работы объектов различают конструкционные, производственные, эксплуатационные отказы. Они характеризуют основные причины их возникновения, т. е. при конструировании — несовершенство норм и правил конструирования, при производстве — нарушение и несовершенство установленного процесса изготовления, при эксплуатации — несоблюдение установленных правил и условий эксплуатации.

1.6.2. Показатели надежности

Для объектов в зависимости от назначения применяют различные показатели надежности. Различают восстанавливаемые и невозстанавливаемые объекты, что определяется нормативно-технической документацией. Если нормативно-технической и конструкторской документацией предусмотрено

проведение ремонта объекта, то он называется *ремонтируемым*.

Неремонтируемые объекты работают до первого отказа, после чего они снимаются с эксплуатации. Значительное количество электрических машин относится к числу неремонтируемых объектов. Для оценки надежности неремонтируемых электрических машин используют вероятностную характеристику случайной величины — наработку до отказа T , под которой понимают наработку объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа.

Распределение наработки до отказа может быть описано: 1) вероятностью безотказной работы $P(t)$; 2) плотностью распределения наработки до отказа $f(t)$; 3) интенсивностью отказов $\lambda(t)$.

Вероятностью безотказной работы $P(t)$ называют вероятность того, что случайная величина T — наработка до отказа — будет не меньше заданной:

$$P(t) = P\{T \geq t\}.$$

Во многих задачах требуется определить вероятность безотказной работы объекта за время t — вероятность того, что в пределах заданной наработки не возникнет отказа объекта, т. е. вероятность $P(t_1, t_2)$ безотказной работы в интервале наработок t_1, t_2 . Она равна отношению вероятностей безотказной работы в начале и конце интервала:

$$P(t_1, t_2) = P(t_2)/P(t_1).$$

Статистически вероятность безотказной работы определяется отношением числа объектов, безотказно проработавших до момента t , к числу объектов, работоспособных в начальный момент времени

$$P(t) = [N - n(t)]/N,$$

где N — число объектов в момент начала наблюдений или испытаний; $n(t)$ — число объектов, отказавших за время t .

Вероятность отказа объекта

$$Q(t) = 1 - P(t).$$

Надежность ряда ремонтируемых объектов не всегда удобно характеризовать вероятностью безотказной работы, так как $P(t)$ у них весьма близка к единице, особенно для небольших интервалов наработки, поэтому применяются показатель надежности — *плотность распределения наработки до отказа*:

$$f(t) = dQ(t)/dt = -dP(t)/dt;$$

$$P(t) = - \int_0^t f(t) dt = \int_t^{\infty} f(t) dt;$$

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt.$$

Для неремонтируемых объектов используется другой показатель — интенсивность отказов $\lambda(t)$. Интенсивность отказов — условная плотность вероятности возникновения отказа невосстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник:

$$\lambda(t) = f(t)/P(t);$$

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}.$$

При $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$ $P(t) = e^{-\lambda t}$.

Статистически интенсивность отказов определяют следующим образом:

$$\lambda(t) = n(\Delta t) / (N_{\text{ср}} \Delta t),$$

где $N_{\text{ср}} = (N_i + N_{i+1})/2$ — среднее число объектов, исправно работающих в интервале Δt ; N_i, N_{i+1} — число работоспособных объектов в начале и конце интервала Δt ; n — число отказавших объектов в интервале Δt .

Одним из показателей безотказности является *средняя наработка на отказ* — математическое ожидание наработки объекта до отказа. На практике используется следующая оценка средней наработки до отказа:

$$T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i,$$

где t_i — наработка до отказа i -го объекта; N — число объектов.

Для восстанавливаемых объектов пользуются средней наработкой на отказ — отношением наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

Наиболее распространенными показателями долговечности электрических машин являются средний ресурс и средний срок службы. *Средний ресурс* — математическое ожидание ресурса. Ресурс — это наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние. *Средний срок службы* — математическое ожидание срока службы. Срок службы — календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

Для характеристики нескольких свойств надежности объектов используются комплексные показатели надежности. Среди них

большое значение имеет коэффициент готовности

$$k_T = T_0 / (T_0 + T_B),$$

где T_0 — средняя наработка на отказ; T_B — среднее время восстановления.

При рассмотрении работоспособности электрических машин наблюдаются характерные периоды, отражающие главные причины их отказов (рис. 1.9). Период I — это период приработки, когда при испытаниях или на начальной стадии эксплуатации происходит выявление и отбраковка конструктивных и производственных недостатков. Для предотвращения отказов в эксплуатации в период приработки осуществляют замену дефектных деталей исправными и, если это возможно, приработку отдельных узлов. Для электрических машин производится проверка изоляции обмоток, притирка щеток на коллекторе или контактных кольцах, настройка систем регулирования и возбуждения, наладка подшипниковых узлов. Для ответственных электрических машин период приработки проходит непосредственно на заводе-изготовителе, чтобы избежать отказов в эксплуатации, обусловленных производственными причинами.

В большинстве случаев в период приработки вероятность безотказной работы за время t может быть описана законом Вейбулла

$$P(t) = e^{-t^m/t_0},$$

где m, t_0 — параметры.

После периода приработки начинается период нормальной эксплуатации II, когда интенсивность отказов падает и в течение длительного времени остается примерно постоянной. В этот период происходят внезапные отказы, которые носят случайный характер, например из-за случайного повышения нагрузок. Распределение наработки до отказа описывается показательным законом. При этом функция плотности распределения

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t).$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = \exp(-\lambda t).$$

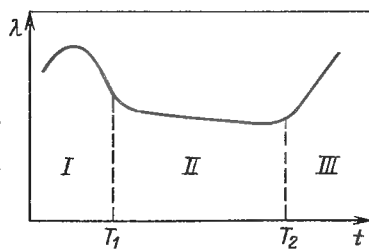


Рис. 1.9. Основные периоды работы машин

При постоянной интенсивности отказов средняя наработка на отказ равна

$$T = 1/\lambda.$$

Период работы электрических машин III характеризуется увеличением интенсивности отказов. С момента времени T_2 элементы и узлы машины начинают отказывать чаще, что вызвано их старением и износом. У электрических машин в этот период отмечается существенное нарушение свойств изоляции, уменьшение ее электрической прочности, износ тел качения подшипников, изменение структуры смазки, износ коллектора и изменение структуры материала коллекторных пластин, повышение вибраций.

Распределение наработки на отказ по причине изнашивания и старения описывают с помощью нормального закона. Так как наработка на отказ является случайной величиной, которая может принимать только положительные значения, распределение T может быть усеченно-нормальным. Оно получается из нормального при ограничении интервала возможных значений этой величины.

Плотность усеченного нормального распределения определяется из выражения

$$\bar{f} = cf(t),$$

где c — нормирующий множитель; $f(t)$ — функция нормального распределения:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi\sigma} e^{-\frac{(t - m_t)^2}{2\sigma^2}},$$

где m_t — математическое ожидание; σ — среднеквадратичное отклонение.

Величина c определяется с помощью нормированной функции Лапласа $\Phi(U)$:

$$c = \frac{1}{\Phi(U_2) - \Phi(U_1)},$$

где $U_1 = (t_1 - m_t)/\sigma$; $U_2 = (t_2 - m_t)/\sigma$; t_1 , t_2 — интервалы ограничения средней наработки до отказа.

1.6.3. Причины отказов

Практика эксплуатации электрических машин позволила наиболее полно исследовать статистическими методами надежность асинхронных двигателей. Систематическое наблюдение электрических двигателей от начала эксплуатации до капитального ремонта показало, что капитальному ремонту подвергается 20 % двигателей. При относительной простоте конструкции надежность асинхронных двигателей все еще остается низкой: средний срок службы составляет

20000 ч (5 лет) и колеблется в зависимости от области применения: до 60000—80000 ч в химической промышленности; до 5000—6000 ч в горнодобывающей промышленности. Основными причинами выхода из строя асинхронных двигателей являются их неудовлетворительная эксплуатация, несовершенная защита или отсутствие ее. При защите двигателей плавкими предохранителями электродвигатели отказывают из-за работы на двух фазах. Электродвигатели отказывают также из-за несоответствия конструктивного исполнения двигателей условиям эксплуатации, неправильного выбора двигателей по мощности и неудовлетворительного обслуживания.

Причинами выхода из строя двигателей являются также их некачественное изготовление, отказы по вине заводов-изготовителей. Отказы двигателей вызываются неравномерностью воздушного зазора, что приводит к задеванию ротора о статор машины. Это может быть обусловлено тем, что технологический процесс и состояние оборудования не обеспечивают требуемую обработку станин, подшипниковых узлов и пакетов ротора. Неравномерность воздушного зазора может быть вызвана также прогибом вала при его недостаточной жесткости. Причиной отказов обмоток двигателей нередко является низкое качество изоляции обмоточных проводов и пропитывающих лаков. Преждевременные отказы обмоток вызываются часто несовершенными технологическими процессами, некачественными пропиткой, намоткой и укладкой в пазы витков обмотки статора.

В подавляющем большинстве случаев отказы электродвигателей происходят из-за повреждения обмоток — 85—95 %, 2—5 % электродвигателей отказывают из-за повреждений подшипников. Основные отказы обмоток обусловлены междувитковыми замыканиями — 93 %.

Для междувитковой изоляции разработана математическая модель надежности. Элементами модели являются два витка, расположенных рядом в пазу или лобовой части и разделенных междувитковой изоляцией, состоящей из собственной изоляции обмоточного провода, пропиточного лака и воздушных прослоек. Отказ происходит тогда, когда приложенное напряжение к соседним виткам U_b превышает пробивное напряжение междувитковой изоляции. На рис. 1.10 дано графическое представление модели, где $q(U_b)$ и $f(U_b)$ — плотности распределения приложенных и пробивных напряжений.

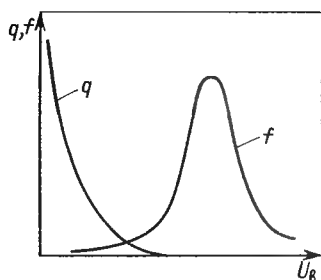


Рис. 1.10.
Модель
надежно-
сти меж-
дувитко-
вой изо-
ляции

Вероятность безотказной работы междувитковой изоляции обмотки, состоящей из n пар проводников, равна

$$P_B = \int_0^{\infty} q(U_B) [1 - F(U_B)]^n dU_B,$$

где $F(U_B)$ — функция распределения пробивного напряжения междувитковой изоляции.

Распределение приложенного напряжения между витками зависит от напряжения на фазе, числа последовательных соединенных секций в фазе, кратности и распределения коммутационных напряжений вдоль обмотки и числа проводников в пазу. Пробивное напряжение изоляции обмоток зависит от свойств изоляционных материалов и условий эксплуатации.

Синхронные машины являются в основном крупными электрическими машинами, которые изготавливаются мелкими сериями, что затрудняет обработку статистических данных. Синхронные машины являются ремонтируемыми объектами, поэтому для таких машин важны такие показатели надежности, как коэффициент готовности и среднее время восстановления. Синхронные машины отличаются тем, что имеют относительно высокое качество обслуживания; количество отказов по причинам, связанным с ошибками эксплуатации, соизмеримо с количеством отказов из-за дефектов изготовления. Вместе с тем в процессе эксплуатации обычно происходят доводка, усовершенствование, модернизация машины. Статистические данные свидетельствуют о том, что одной из основных причин отказов синхронных машин являются заводские дефекты.

Для оценки эксплуатационной надежности синхронных генераторов широко применяют показатель *удельная повреждаемость*. Это удельное число аварийных отключений, которое измеряется средним числом повреждений на одну машину в год и выражается в процентах.

Большинство повреждений относится к обмотке статора, основным местом по-

вреждений изоляции обмоток статора является пазовая часть обмотки, пробой которой составляет примерно 50% всех пробоев обмоток статора. На процесс изменения и разрушения изоляции оказывают влияние повышенные механические усилия при переходных процессах, вибрация, перенапряжения, перегрузки по току. В процессе изготовления могут появиться участки с пониженной электрической прочностью. Это связано с изготовлением стержней обмоток с размерами, выходящими за пределы допуска, что приводит к повреждению изоляции при укладке обмотки в пазы. В процессе изготовления возможно попадание на поверхность изоляции ферромагнитных частиц, вибрация которых в магнитном поле приводит к постепенному разрушению изоляции.

Лобовые части обмоток крупных электрических машин наибольшей опасности подвергаются при переходных процессах. Большие ударные токи могут вызвать разрывы бандажей, деформацию частей обмотки, появление трещин и вмятин в изоляции. В процессе эксплуатации синхронных генераторов отмечаются также пробои изоляции вследствие попадания в нее масла и влаги. Среди повреждений активной стали наиболее частыми являются ослабление запрессовки, расшатывание сердечника стали под действием вибрационных и магнитных сил, повреждение изоляционной пленки на поверхности листов.

На подвижных частях машины частые повреждения наблюдаются на бандажных узлах; эти повреждения вызываются действием центробежных сил, деформациями вала и усилиями горячих посадок на вал. Под действием температуры происходит перемещение обмотки ротора, деформация проводников обмотки. Возможно также перекрытие каналов охлаждения и снижение сопротивления изоляции при попадании влаги, масла и пыли на обмотку.

Характерными повреждениями и нарушениями в работе подшипниковых узлов крупных синхронных машин являются выплавление баббита, повреждение вкладышей и цапф подшипниковыми токами. Выплавление баббита обычно происходит при нарушении работы системы маслоснабжения. Наиболее распространенной неисправностью подшипников является вытекание масла. Подшипниковые токи возникают из-за несимметрии в магнитной системе, обусловленной неравномерным зазором, наличием осевых каналов, несимметричным размещением сегментов активной стали. Замыкание обмотки ротора на корпус также приво-

дит к появлению подшипниковых токов.

В гидрогенераторах наиболее характерными отказами механических узлов являются отказы подшипников, вызываемые неравномерными нагрузками. Как показывает статистика наблюдений, износ подпятников наступает через 4—5 лет.

Для обеспечения надежности крупных синхронных машин большое внимание уделяется контактно-щеточной системе и возбuditелям. Число отказов возбuditелей иногда превышает число отказов обмоток ротора и статора.

Данные о причинах выхода из строя в период эксплуатации электрических машин постоянного тока показывают, что большинство аварий происходит по вине обслуживающего персонала, который не всегда обеспечивает необходимый уход и качественное выполнение текущего ремонта. Среди других причин отказов следует отметить конструкционные недостатки. Так, у двигателей прокатных станов основные отказы обусловлены повреждениями коллектора, что вызвано неблагоприятной коммутацией при регулярных кратковременных перегрузках.

Наиболее частыми повреждениями возбuditелей синхронных генераторов являются повреждения бандажей обмотки якоря, нарушения пайки петушков и износ коллектора. При этом надежность коллекторно-щеточного узла во многом зависит от мощности возбuditеля.

В тяговых двигателях одной из частых причин отказов в работе является возникновение кругового огня на коллекторе. Это вызвано условиями эксплуатации (буксование колесных пар), невысоким качеством выпрямленного питающего напряжения, повышенными ударными и вибрационными нагрузками.

Повреждения обмоток якорей машин постоянного тока проявляются в пробое корпусной изоляции между пакетом стали якоря и обмоткой и пробое изоляции между витками. В крупных машинах постоянного тока повреждения проявляются в распайке соединительных петушков коллекторных пластин с обмоткой и в разрушении проводочных бандажей.

Отказы механических узлов машин постоянного тока определяются в основном состоянием шеек вала и подшипников качения и скольжения. Повреждения подшипников скольжения и шеек вала выражаются в виде износа вкладышей в гнездах подшипников, вытекания смазки из подшипников при их неисправностях, нарушения работы смазочных колец в подшипниках.

1.6.4. Аттестация качества электрических машин

Аттестация качества продукции — один из постоянно действующих факторов, стимулирующих создание продукции, превосходящей по своим технико-экономическим показателям лучшие отечественные и мировые достижения.

В соответствии с Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 18 августа 1983 г. в СССР установлены единые и обязательные для всех министерств и ведомств правила аттестации промышленной продукции по двум категориям качества — высшей и первой.

К высшей категории качества относится продукция, которая по технико-экономическим показателям находится на уровне лучших мировых достижений или превосходит их, соответствует значениям, предусмотренным стандартами для вновь разработанной (модернизированной) и намечаемой к разработке продукции, и отвечает нормативно-техническим документам, по которым она выпускается.

До утверждения стандартов, устанавливающих значения показателей для вновь разработанной и намечаемой к разработке продукции, к высшей категории качества должна относиться продукция, по технико-экономическим показателям находящаяся на уровне лучших мировых достижений или превосходящая их, обеспечивающая значительное повышение производительности труда, экономию материалов, топлива и электроэнергии, удовлетворяющая потребности населения страны, конкурентоспособная на внешнем рынке и отвечающая нормативно-техническим документам, по которым она выпускается.

Такая продукция должна характеризоваться высокой стабильностью показателей качества, основанной на высоком техническом уровне производства, строгом соблюдении технологической дисциплины и высокой культуре производства. Промышленная продукция высшей категории качества обозначается государственным Знаком качества в соответствии с ГОСТ 1.9-67.

К первой категории качества относится продукция, отвечающая нормативно-техническим документам, по которым она выпускается, содержащим современные требования, соответствующие значениям, предусмотренным стандартом для серийно выпускаемой продукции.

До утверждения стандартов, устанавливающих значения показателей для серийно

выпускаемой продукции, к первой категории качества должна относиться продукция, по технико-экономическим показателям находящаяся на уровне современных требований народного хозяйства и населения страны и отвечающая нормативно-техническим документам, по которым она выпускается и имеет стабильные показатели качества.

Если представленная на аттестацию продукция не получает первой категории качества, она считается неаттестованной и подлежит снятию с производства. Продукция, не аттестованная при повторной аттестации по высшей или первой категории качества, подлежит снятию с производства в месячный срок после принятия решения государственной аттестационной комиссией.

Продукция относится к высшей или первой категории на срок до трех лет. Продление срока действия категории качества без проведения аттестации продукции не допускается.

Аттестация продукции проводится в целях обеспечения выпуска продукции, отвечающей по своим технико-экономическим показателям высшему мировому уровню, потребностям народного хозяйства, населения страны и экспорта.

В 1988 г. на большинстве заводов электротехнической промышленности введена государственная приемка. Введение государственной приемки продукции способствует повышению качества выпускаемой продукции.

1.7. Вибрация и шумы электрических машин

1.7.1. Источники вибрации и шума электрических машин

Силы, вызывающие вибрацию электрической машины, подразделяются на силы магнитного, механического и аэродинамического происхождения. Основными источниками вибрации и шума электрических машин являются магнитные, механические и аэродинамические источники.

Магнитные источники вибрации связаны с высшими пространственными гармоническими, которые обусловлены наличием зубцов на статоре и роторе, несимметрией и несинусоидальностью напряжения питания, эксцентриситетом воздушного зазора, несинусоидальным распределением МДС обмотки и целым рядом других причин [22].

К механическим источникам относятся небаланс ротора, несоосность и перекос

посадочных мест подшипника, отклонения в форме их колец и разброс размеров сепаратора, тепловая деформация ротора, прогиб вала, погрешности коллекторного узла и др. Аэродинамические источники связаны с вентилятором и другими расположенными на роторе деталями.

Силы магнитного происхождения в свою очередь делятся в зависимости от направления действия на аксиальные, тангенциальные и радиальные. Эти силы наиболее выражены в диапазоне частот 100—4000 Гц, в котором человеческое ухо обладает повышенной чувствительностью к шуму.

Аксиальные силы вызывают смещение ротора по отношению к сердечнику статора, что приводит к их взаимному аксиальному сдвигу и повышению уровня вибрации.

Тангенциальные силы создают вращающий момент. Эти силы также вызывают вибрации обмоток, особенно в зоне лобовых частей. Тангенциальные силы могут быть, особенно при несинусоидальном напряжении питания, источником изгибных колебаний корпуса электрической машины и соответствующих вибраций. Однако основные изгибные деформации корпуса электрической машины в широком спектре частот вызываются радиальными силами.

Магнитные удельные радиальные силы пропорциональны квадрату магнитной индукции в воздушном зазоре:

$$P_r(\alpha, t) = B^2(\alpha, t) / (2\mu_0),$$

где $P_r(\alpha, t)$ — радиальная вибровозмущающая сила; $B(\alpha, t)$ — индукция; α — пространственная координата; t — время.

В воздушном зазоре электрической машины индукция магнитного поля может быть представлена суммой основной гармоники B_1 и высших гармоник порядка i , обусловленных различными причинами j :

$$B = B_1 + \sum_{i,j} B_{ij}.$$

Насыщение магнитопровода является причиной возникновения ряда дополнительных гармоник магнитной индукции, которые в свою очередь могут принять участие в образовании дополнительных вибровозмущающих сил. С достаточной для практических целей точностью насыщение при вибрационных расчетах учитывается третьей гармоникой индукции.

Аналогично в виде дополнительных гармоник магнитной индукции учитывается влияние эксцентричного расположения ротора.

В электрических машинах, особенно

в асинхронных двигателях, возникают вибрации и при чисто синусоидальном магнитном поле в воздушном зазоре, когда спектр поля содержит только основную гармонику. В этом случае вибрации возникают под действием радиальной силы, которая деформирует осевую линию статора в 2 π -угольник с частотой, равной удвоенной частоте питания. В общем случае любые причины несинусоидальности магнитного поля следует рассматривать как причины увеличения виброактивности асинхронного двигателя прежде всего на двойной частоте питания.

Деформации отдельных деталей, узлов и машин в целом являются причиной возникновения звуковых волн — шума, причем интенсивность этого процесса зависит от возмущающих сил, упругих свойств материалов, используемых в электрической машине, конструкции и ее акустических свойств.

Среди вибровозмущающих сил механического происхождения следует отметить силы, обусловленные подшипниками качения. Интенсивность этого источника вибрации и шума зависит от целого ряда факторов, связанных с технологическими погрешностями изготовления подшипников качения и подшипникового узла. Большое значение имеют виброакустические свойства подшипниковых щитов, которые при определенной конструкции могут быть интенсивными излучателями звука.

Основными недостатками подшипников в машинах с горизонтальным расположением вала, влияющими на уровень вибрации и шума, являются: недостаточная жесткость корпуса подшипника в продольном и поперечном направлениях, совпадение частот собственных колебаний корпуса подшипника с частотой вращения ротора при различных режимах работы электрической машины, эксцентричная нагрузка на корпус подшипника, приводящая к изгибающему моменту, действующему в вертикальной плоскости.

Одним из основных источников вибрации и шума механического происхождения является остаточная неуравновешенность вращающихся частей электрической машины. Неуравновешенность ротора возбуждает значительные вибрации и шум, особенно в быстроходных машинах.

При трении щеток о коллектор или контактные кольца в электрической машине возбуждаются вибрации и шум, имеющие высокочастотные составляющие. Вибрации и шум, обусловленные коллекторно-щеточным узлом, характерны для крупных машин постоянного тока.

Силы аэродинамического происхожде-

ния вызывают вибрации и шум, уровень которых зависит от правильности выбора количества и формы лопаток, типа вентилятора, его аэродинамических свойств, числа и профиля вентиляционных каналов, правильности расположения вентиляторов относительно деталей и узлов электрической машины.

Технология производства оказывает большое влияние на стабильность виброакустических характеристик. Практика показывает, что их разброс даже у однотипных электрических машин может достигать 20 дБ.

Задачу снижения вибрации от остаточной неуравновешенности ротора в настоящее время можно считать практически решенной. Качество современного оборудования для динамической балансировки позволяет выполнить эту задачу с заданной степенью точности, что является условием для получения вибрационных характеристик, удовлетворяющих заданным требованиям.

Все неуравновешенные силы, возникающие в электрических машинах, вызывают изменяющиеся во времени дополнительные нагрузки на подшипники, в результате чего происходят виброперемещения последних. В совокупности с конструктивными недостатками подшипниковых узлов эти силы вызывают вибрацию электрической машины в целом.

Следует особо отметить значение в шумообразовании подшипников волнистости и гранности рабочих поверхностей.

С увеличением номинального внутреннего диаметра подшипников их шум и вибрация возрастают на 1–2 дБ на единицу номера типоразмера подшипника.

В значительной мере виброактивность подшипников качения зависит от размеров радиального зазора. Возникающая при этом прецессия вала приводит к ударным взаимодействиям вала с телами качения, вследствие чего генерируется широкий спектр вибраций и шума.

Роликоподшипники имеют уровень вибрации и шума на 1–3 дБ больше, чем шарикоподшипники тех же размеров.

Снижение уровня шума и вибрации может быть достигнуто применением подшипников скольжения, которые обеспечивают достаточную бесшумность работы и повышенную вибростойкость.

Демпфирующее действие на вибрацию и шум электрической машины, вызванные колебаниями подшипникового узла, оказывает смазка подшипников. Выбор смазки производится с учетом частоты вращения,

рабочей температуры узлов, нагрузки и характера окружающей среды.

Правильный выбор смазки обеспечивает снижение критической частоты, рассчитанной для ротора на жестких подшипниках, и демпфирование виброперемещения ротора.

Устойчивость движения шейки вала на масляной пленке смазки можно повысить увеличением на нее нагрузки. Для этого целесообразно применять вкладыши специальной конструкции, которые позволяют повысить устойчивость движения шейки вала и достигнуть более точного центрирования оси последней.

В машинах с малонагруженными вращающимися роторами, имеющих широкий диапазон рабочей частоты вращения, целесообразно применять подшипники скольжения с самоустанавливающимися сегментами, которые под действием гидродинамического давления в масляном канале занимают оптимальное положение.

Улучшение виброакустических характеристик электрических машин может быть достигнуто применением осевого натяга с помощью пружинных шайб.

Снижению уровня вибрации способствует и установка подшипников качения во вкладыши из прессованного медного волокна определенной пористости. С помощью таких опор удастся отстроиться от резонанса системы «ротор—корпус—основание» и понизить уровень вибраций на средних и высоких частотах до 12 дБ.

1.7.2. Показатели вибрации электрических машин

При оценке вибрации электрических машин за основные величины принимаются: вибрационное смещение S — мгновенное значение отклонения колеблющегося элемента относительно положения равновесия, вибрационная скорость v — мгновенное значение скорости колеблющегося элемента:

$$v = dS/dt,$$

и вибрационное ускорение a — мгновенное ускорение колеблющегося элемента:

$$a = d^2S/dt^2 = dv/dt.$$

При гармонических колебаниях достаточно измерить частоту и одну из основных величин, а затем рассчитать остальные. Так, при частоте ω и амплитуде вибрационного смещения S амплитуда вибрационной скорости

$$v = \omega S$$

и амплитуда вибрационного ускорения

$$A = \omega v = \omega^2 S.$$

Для детального исследования вибрации электрических машин необходимо измерять все указанные величины.

Амплитуда смещения является критерием оценки вибрации лишь в случае, если известна частота вибрации.

Ввиду большого интервала абсолютных значений параметров вибрации на практике часто удобно выражать вибрационное перемещение, скорость и ускорение в логарифмическом масштабе относительно пороговых уровней следующим образом:

$$L_S = 20 \lg \frac{S}{S_0}; \quad L_v = 20 \lg \frac{v}{v_0};$$

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{a_0},$$

где S , v , a — значения вибрационного перемещения, мм, скорости, мм/с, ускорения, м/с².

Пороговые значения вибрационного перемещения S_0 , скорости v_0 и ускорения a_0 выбираются таким образом, чтобы для частоты 1000 Гц получались одинаковые значения вибрации в децибелах по скорости, ускорению и перемещению.

При гармонических колебаниях между значениями вибрационного перемещения, скорости и ускорения в децибелах имеют место следующие соотношения:

$$L_a = L_v + 20 \lg \frac{f}{1000};$$

$$L_S = L_v - 20 \lg \frac{f}{1000}.$$

При исследовании полигармонических колебаний приходится оценивать их в определенном диапазоне частот: от нижней граничной частоты f_n до верхней граничной частоты f_b . Обычно рассматриваемый диапазон частот делят на поддиапазоны или полосы частот. Центральная частота полосы определяется равенством

$$f_0 = \sqrt{f_n f_b}.$$

Полоса частот, для которой между верхней и нижней граничными частотами имеет место соотношение

$$f_b = 2f_n,$$

называется октавой.

На практике для измерения параметров вибрации пользуются и более узкими полосами частот, а именно $1/3$ октавы. Для такой

полосы частот значения верхней и нижней граничных частот связаны соотношением

$$f_b = f_n \sqrt[3]{2}.$$

Эффективное значение вибрационного перемещения, скорости и ускорения в диапазоне частот определяется суммированием уровней всех спектральных составляющих, которые входят в рассматриваемую полосу и рассчитываются в соответствии с выражением

$$L = 20 \lg \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n l_i^2}}{l_0},$$

где l_i — уровни спектральных составляющих; l_0 — пороговый уровень.

Обозначения и опорные значения вибрационных параметров определяются рядом стандартов: ГОСТ 24347-80, ГОСТ 12379-75, ГОСТ 16921-83, ГОСТ 23941-79.

1.7.3. Измерения шума и вибрации

Требования, предъявляемые к электрическим машинам с точки зрения виброакустических характеристик, предусматривают обязательный контроль вибрации и шума на стадии производства и в процессе эксплуатации. Измерения производятся для исследования причин, вызывающих вибрации и шум, и для контроля качества продукции. Измерение виброакустических характеристик при обеспечении требуемого качества электрических машин проводится в соответствии с инструкциями и стандартами, в которых указываются методика измерений, измерительная аппаратура, условия монтажа и режим работы машины. Результаты измерений сопоставляются с эталоном или с контрольными данными для выявления соответствия полученных результатов допустимому уровню вибрации и шума.

Различные методики позволяют контролировать определенные акустические параметры электрической машины: общий уровень звукового давления, звуковую мощность, характеристику направленности излучения и т. д.

Шумовые характеристики определяются в свободном звуковом поле (в заглушенных камерах, в помещениях с большим поглощением или в открытом пространстве); в отраженном звуковом поле (в реверберационных камерах); в обычных помещениях с помощью образцового источника шума на расстоянии 1 м от внешнего контура машины.

Определение шумовых характеристик

регламентируется несколькими стандартами: ГОСТ 12.1.024-81 и ГОСТ 12.1.025-81, представляющими точные методы, ГОСТ 12.1.026-80 и ГОСТ 12.1.027-80, представляющими технические и ГОСТ 12.1.028-80 — ориентирующий методы.

При определении характеристик направленности излучения шума следует пользоваться только методом измерения в свободном звуковом поле.

Метод определения шумовых характеристик с помощью образцового источника применим в обычных помещениях с объемом не менее 60 м³.

В соответствии с ГОСТ 23941-79 (СТ СЭВ 541-77) при измерении и оценке допустимых уровней шума условия установки источника шума должны приближаться к обычным условиям при его работе в процессе эксплуатации.

Режимы работы машины должны соответствовать типовым установившимся режимам: при номинальной нагрузке и номинальной частоте вращения, при полной нагрузке, при холостом ходе, при различных операциях технологического процесса.

Не всегда удастся провести корректные измерения шума в номинальном режиме нагрузки. Это объясняется тем, что для создания номинальной нагрузки возникает необходимость сочленения испытуемой машины со вспомогательным устройством — машиной, которая вносит значительные искажения в результаты измерения. Поэтому измерение шума в режиме номинальной нагрузки проводят лишь для электромашинных преобразователей и других машин, нагрузка которых может быть осуществлена без механического соединения со вспомогательной машиной или механизмом (тормозом, вентилятором и др.).

При исследовании виброакустических характеристик синхронных машин нагрузку имитируют в режиме компенсатора. При типовых испытаниях асинхронных машин и двигателей постоянного тока нагрузочное устройство размещают за пределами испытательного помещения (камеры) и соединяют его с испытуемой машиной.

Большое влияние на шумовые характеристики имеет частота вращения ротора машины. От нее в значительной мере зависят шумы аэродинамического и механического происхождения, поэтому частота вращения при акустических испытаниях машины должна быть номинальной.

За нормируемый уровень шума по ГОСТ 11929-87 и ГОСТ 16372-84 принимается средний уровень звука на расстоянии

1 м от контура машины. Выбор точек производится в соответствии с ГОСТ 11929-87.

В зависимости от требований к уровню шума электрические машины разделяются на четыре класса. При отнесении различных типов электрических машин к классам по их уровням шума можно руководствоваться следующим перечнем:

класс 1 — машины, к которым не предъявляются специальные требования по уровню шума;

класс 2 — машины с малошумными подшипниками качения, со специальными малошумными конструкциями вентиляторов и т. д.;

класс 3 — машины с пониженным использованием активных материалов, закрытые (с водяным или естественным охлаждением), с глушителями вентиляционного шума, с подшипниками скольжения;

класс 4 — машины со звукоизолирующим кожухом или другими существенными изменениями конструкции, выполненными для снижения шума.

В качестве иллюстрации в таблице приведены допустимые уровни звука по классу 1 для электрических машин различных мощностей со степенью защиты IP44.

Полученные результаты измерений шума в свободном звуковом поле обрабатываются в следующем порядке:

1. При наличии помех, уровень звука которых на 6—9 дБ отличается от уровня звука работающей испытуемой машины, необходимо вносить соответствующую поправку, равную 1 дБ. Если разность между уровнем звука машины и уровнем звука помех равна 4—5 дБ, то поправка, учитывающая влияние помех, будет равна 2 дБ, т. е. из уровня звука работающей машины необходимо вычесть 2 дБ. При разностях уровней звука машины и помех более 9 дБ поправка не вносится.

2. Производится усреднение уровней звука, измеренных в нескольких точках вокруг машины. Если усредняемые уровни звука, измеренные в точках, отличаются друг от друга менее чем на 5 дБ, то за средний уровень звука принимается среднее арифметическое значение. Если они различаются более чем на 5 дБ, усреднение проводится по формуле

$$L = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n \cdot 10^{0,1L_i} \right) - 10 \lg n,$$

где L_i — уровень звука в i -й точке измерения на расстоянии 1 м от корпуса; n — количество точек измерения.

При проведении типовых испытаний дополнительно измеряются уровни звукового давления в октавных полосах в точке с максимальным уровнем звука.

Согласно ГОСТ 16921-83 при оценке вибрации электрических машин основной измеряемой величиной должно являться эффективное значение вибрационной скорости $v_{\text{эф}}$, измеренное в диапазоне от рабочей частоты до 2000 Гц. Необходимость проведения спектрального анализа по вибрационному ускорению в диапазоне частот свыше 2000 Гц согласуется дополнительно.

Для оценки вибрации установлено восемь классов, индексы которых по ГОСТ 16921-83 соответствуют максимально допустимой для данного класса вибрационной скорости.

Основные требования к измерительной аппаратуре изложены в ГОСТ 16876-71 и ГОСТ 17168-82.

В соответствии с ГОСТ 12379-75 виброизмерительные преобразователи должны жестко крепиться к испытуемой электрической машине или дополнительной массе, причем масса вибропреобразователя не должна превышать 5% массы электрической машины.

Мощность, кВт	L_{dLA} , дБ (по шкале A), для номинальных частот вращения, об/мин					
	600—900	900—1320	1320—1900	1900—2360	2360—3150	3150—3750
0,25—1,1	67	70	71	74	75	79
1,1—2,2	69	70	73	78	80	82
2,2—5,5	72	74	77	82	83	85
5,5—11	75	78	81	86	87	90
11—22	78	82	85	87	91	93
22—37	80	84	86	89	92	95
37—55	81	86	88	92	94	97
55—110	84	89	92	93	96	98
110—220	87	91	94	96	98	100
220—400	88	92	96	98	99	102
400—630	89	93	97	99	100	103
630—1000	91	95	98	100	101	104

При контроле вибрации следует применять упругую установку испытуемой машины. В тех случаях, когда по техническим причинам упругая установка испытуемой машины невозможна, допускается жесткая установка машины на фундаменте без специальных упругих элементов. Масса фундамента при такой установке должна превышать массу испытуемой машины не менее чем в 10 раз. Испытуемая машина при упругой и жесткой установке должна иметь эксплуатационное положение.

Совокупность всех приспособлений, связанных с электрической машиной при упругой установке, называется дополнительной массой. Дополнительная масса участвует в колебаниях машины как единое целое. Необходимо выполнять требование, согласно которому $m_{\text{доп}} \leq 0,1m_{\text{маш}}$, где $m_{\text{доп}}$ — дополнительная масса; $m_{\text{маш}}$ — масса испытуемой машины.

В ГОСТ 12379-75 оговорены требования, предъявляемые к упругим элементам. Упругие элементы должны выбираться с учетом условий прочности. Статическое перемещение центра тяжести с дополнительной массой от собственного веса не должно превышать половины максимально допустимого перемещения упругого элемента.

Помехи от внешней вибрации, опре-

деляемые при неработающей машине, не должны быть более 25% нормируемого значения, т. е. уровень полезного сигнала должен превышать уровень помех на 8—10 дБ.

Режим работы машины при оценке вибрации оговаривается техническими условиями или стандартами на определенный тип машины. Например для электромашинных преобразователей и электрических машин, нагрузка которых осуществляется без дополнительных приводных устройств или механизмов, контроль вибрации проводится в режиме номинальной нагрузки. Контроль вибрации синхронных машин проводится при номинальном напряжении и токе статора в режиме перевозбуждения двигателя. Для большинства электрических машин контроль вибрации следует проводить в режиме холостого хода.

Согласно ГОСТ 12379-75 виброиспытания электрических машин с одной рабочей частотой вращения необходимо проводить при номинальной частоте вращения. Испытания многоскоростных машин проводят при частоте вращения с наибольшей вибрацией.

Виброиспытания машин, имеющих регулируемую частоту вращения, выполняют при номинальной и максимальной рабочих частотах вращения.

РАЗДЕЛ 2

СТАНДАРТИЗАЦИЯ В ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ

2.1. Общие сведения и задачи стандартизации

На современном уровне промышленного развития без широкого применения унификации и стандартизации невозможна организация рентабельного производства и эксплуатация электрических машин. Стандартизацией и унификацией решаются задачи уменьшения затрат на производство и эксплуатацию электрических машин, а также задачи минимизации затрат общественного труда на генерирование, передачу электрической энергии и ее преобразование в механическую энергию. Для достижения этой цели с позиций потребителя желательно для каждого конкретного механизма иметь специальную электрическую машину. С позиций производителя желательно в максимальной мере сократить номенклатуру выпу-

скаемых электрических машин и получить минимум затрат труда при их производстве, а также эксплуатационном обслуживании и ремонте.

Исходя из этого стандартизация электрических машин имеет ряд особенностей. Потребителю стандартизация должна обеспечить возможность получения электрических машин с необходимыми электромеханическими характеристиками, возможность подключения электрической машины к электрическим сетям, ее сопрягаемость с производственными механизмами и возможность ее замены при необходимости другой однотипной машиной, изготовленной другими фирмой или заводом.

Производителю электрических машин стандартизация должна обеспечить возможность выпуска большого разнообразия машин при минимальной перестройке техноло-

гии и оснащения для сохранения при этом массового или крупносерийного характера производства.

Для удовлетворения этих требований стандартизация электрических машин строится по иерархическому принципу. Основу этой системы составляют группы стандартов верхнего, среднего и нижнего уровней.

Группа стандартов верхнего уровня, так называемые основополагающие, распространяется на все виды и типы машин. Ряд групп стандартов, распространяющихся на отдельные виды машин, относятся к среднему уровню и, наконец, ряд стандартов на конкретные совокупности машин — к нижнему уровню.

В группу основополагающих стандартов (табл. 2.1) входят ГОСТ, обеспечивающие конструктивную совместимость с производственными механизмами и взаимозаменяемость машин, ряды номинальных напряжений, частот тока и частот вращения, с которыми разрешается проектировать и изготавливать электрические машины. В эту же группу входят ГОСТ, устанавливающие единую терминологию, единые методы испытаний, единые требования стойкости к внешним воздействиям.

Стандартизация электрических машин базируется на нескольких принципах:

1) должно быть сгруппировано для унификации и последующей стандартизации все то, что прямо не препятствует получению любых необходимых потребителям характеристик электрических машин;

2) должны быть стандартизованы конструктивные параметры, обеспечивающие максимальную выгоду как производителю, так и потребителю за счет конструктивной взаимозаменяемости составных частей и машины в целом;

3) должны быть созданы ограничительные стандарты, исключающие возможность создания электрических машин с очень близкими или совпадающими по основным параметрам характеристиками.

Разработка и установление технических нормативов и норм на конкретные группы и виды электрических машин осуществляется на основе объединения их в группы однородной народнохозяйственной продукции — продукции, обладающей одинаковыми принципами действия и свойствами, общими значениями основных конструктивно-технологических параметров и одинаковым или подобным целевым (функциональным) назначением.

Электрические машины включают в себя следующие группы однородной продукции:

турбогенераторы;
гидрогенераторы;
компенсаторы синхронные;
машины электрические большой мощности;
машины электрические средней мощности;

машины электрические малой мощности.
К группе машин большой мощности относятся:

коллекторные машины мощностью свыше 200 кВт;
синхронные генераторы мощностью свыше 100 кВт;
синхронные двигатели мощностью свыше 200 кВт;
асинхронные двигатели мощностью свыше 100 кВт напряжением свыше 1000 В;
электромашины преобразователи мощностью свыше 100 кВт.

К группе машин средней мощности относятся:

коллекторные машины мощностью 1—200 кВт;
синхронные генераторы мощностью до 100 кВт; в том числе высокоскоростные мощностью до 200 кВт;
асинхронные двигатели мощностью 1—200 кВт;
асинхронные машины мощностью 1—400 кВт напряжением до 1000 В, в том числе двигатели единых серий, мощностью от 0,25 кВт;

преобразователи и агрегаты электромашины мощностью до 100 кВт.

К группе машин малой мощности относятся следующие электрические машины, не входящие в первые две группы:

двигатели постоянного тока коллекторные и универсальные;
двигатели постоянного тока безколлекторные;
асинхронные двигатели;
синхронные двигатели;
шаговые двигатели;
тахогенераторы постоянного и переменного тока;
сельсины;
вращающиеся трансформаторы;
фазовращатели;
электроклапаны; электромагнитные муфты.

В зависимости от народнохозяйственной значимости и объектов производства нормативная документация на конкретные группы или виды электрических машин может быть выполнена в виде ГОСТ или отраслевых стандартов или в виде отраслевых ТУ.

Таблица 2.1. Основополагающие стандарты на электрические машины

Номер ГОСТ (СТ СЭВ)	Название
ГОСТ 183-74 (СТ СЭВ 1346-78) ГОСТ 26772-85 (СТ СЭВ 3170-81) ГОСТ 2479-79 (СТ СЭВ 246-76)	Машины электрические. Общие технические требования Машины электрические вращающиеся. Обозначения выводов и направление вращения Машины электрические вращающиеся. Условные обозначения конструктивных исполнений по способу монтажа
ГОСТ 2582-81	Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия
ГОСТ 4541-70	Машины электрические вращающиеся. Обозначения буквенные установочно-присоединительных и габаритных размеров
ГОСТ 8592-79	Машины электрические вращающиеся. Допуски на установочно-присоединительные размеры и методы контроля
ГОСТ 10683-73	Машины электрические. Номинальные частоты вращения и допускаемые отклонения
ГОСТ 11828-86 ГОСТ 12139-84	Машины электрические. Общие методы испытаний Машины электрические вращающиеся. Ряды номинальных мощностей, напряжений и частот
ГОСТ 12327-79	Машины электрические вращающиеся. Остаточные дисбалансы роторов. Нормы и методы измерений
ГОСТ 13267-73 (СТ СЭВ 4435-83) СТ СЭВ 169-74	Машины электрические и непосредственно соединяемые с ними неэлектрические. Высота оси вращения Машины электрические вращающиеся. Виды. Термины и определения
ГОСТ 16372-84Е (СТ СЭВ 1348-78) ГОСТ 16921-83 (СТ СЭВ 2412-80) ГОСТ 17154-71	Машины электрические вращающиеся. Допустимые уровни шума Машины электрические вращающиеся. Допустимые вибрации Машины электрические вращающиеся. Характеристика, расчетные параметры и режимы работ. Термины и определения
ГОСТ 17494-72 (СТ СЭВ 247-85) ГОСТ 18709-73	Машины электрические напряжением до 1000 В. Степени защиты Машины электрические. Установочно-присоединительные размеры
ГОСТ 19780-81	Коллекторы и кольца контактные электрических машин. Ряды диаметров
ГОСТ 20459-75 (СТ СЭВ 1953-79) ГОСТ 20832-75	Машины электрические вращающиеся. Способы охлаждения. Обозначения Машины электрические вращающиеся массой до 0,5 кг. Допустимые вибрации
ГОСТ 20839-75	Машины электрические вращающиеся с высотой оси вращения от 450 до 1000 мм. Установочно-присоединительные размеры.
ГОСТ 21888-82 (СТ СЭВ 1376-78) ГОСТ 23264-78	Щетки, щеткодержатели, коллекторы и контактные кольца. Термины и определения Машины электрические малой мощности. Условные обозначения
ГОСТ 23275-78	Машины электрические вращающиеся малой мощности. Термины, определения и буквенные обозначения параметров
ГОСТ 24807-81 (СТ СЭВ 1951-79, СТ СЭВ 1952-79)	Машины электрические вращающиеся. Концы валов цилиндрические и конические с конусностью 1:10. Основные параметры и размеры

Категории стандартов и их статус в СССР установлены Государственной системой стандартизации, основные положения и требования которой определены ГОСТ 1.0-68.

Электромашиностроение как составная часть электротехнической промышленности в области стандартизации базируется на нормах и правилах, принятых для всей электротехники и зафиксированных в соответствующих общих для всей электротехники стандартах. К таким общим стандартам относятся, например, стандарты, устанавливающие параметры электроэнергии, условия эксплуатации электрических машин в части воздействия факторов внешней среды, требования к маркировке и упаковке, классификацию изоляционных конструкций по нагревостойкости и т. д.

Конкретизация требований, установленных в общелектротехнических стандартах, применительно к электрическим машинам осуществляется либо в основополагающих стандартах на машины, либо непосредственно в стандартах и технических условиях на отдельные группы (типы) машин. Перечень общих для электротехники стандартов, требования которых конкретизируются в стандартах на отдельные группы (виды) машин, дан в табл. 2.2.

Для углубления и совершенствования сотрудничества и развития социалистической экономической интеграции стран — членов СЭВ сессией Совета Экономической Взаимопомощи в 1962 г. было принято решение об организации Постоянной комиссии по стандартизации и Института СЭВ по стандартизации.

В задачи Постоянной комиссии СЭВ по стандартизации входит оказание эффективной помощи сотрудничеству стран — членов СЭВ в области унификации национальных стандартов, развития стандартизации в рамках СЭВ в интересах международной специализации и кооперирования производства в странах — членах СЭВ. В качестве основного нормативно-технического документа принят стандарт СЭВ (СТ СЭВ).

Стандарты СЭВ разрабатываются в первую очередь на продукцию, изготавливаемую в соответствии с многосторонними и двусторонними соглашениями, на объекты стандартизации межотраслевого и общепромышленного назначения, на изделия, поставляемые по международным соглашениям о специализации и кооперации.

Вопросы применения стандартов СЭВ регламентируются Конвенцией о приме-

нии стандартов СЭВ, подписанной странами — членами СЭВ в 1974 г.

В соответствии с Конвенцией страны-участницы должны обеспечить обязательное и прямое (непосредственное) применение стандартов СЭВ в договорно-правовых отношениях по экономическому и научно-техническому сотрудничеству между странами для повышения эффективности сотрудничества средствами стандартизации, а также обязательное применение стандартов СЭВ в их народном хозяйстве в целях развития технического прогресса в каждой из этих стран. При этом под обязательным и прямым (непосредственным) применением стандарта СЭВ в договорно-правовых отношениях понимается обязательное применение стандарта СЭВ на объект сотрудничества путем ссылки на него в документах, определяющих договорно-правовые отношения (соглашения, договоры, контракты).

Под обязательным применением стандартов СЭВ в народном хозяйстве имеется в виду или непосредственное применение стандарта СЭВ в качестве национального стандарта без изменений и переоформлений, или введение стандарта СЭВ в национальные стандарты при условии обеспечения полного соответствия показателей национальных стандартов с показателями стандартов СЭВ. Национальные стандарты, разработанные на основе стандартов СЭВ, имеют обозначение, указывающее на соответствие стандарту СЭВ.

По принятой в СССР методике если ГОСТ полностью соответствует стандарту СЭВ, то это отражается во вводной части (например, «Настоящий стандарт полностью соответствует СТ СЭВ ...») или же во вводной части оговаривается степень соответствия ГОСТ стандарту СЭВ.

Советский Союз является также членом Международной электротехнической комиссии (МЭК), в задачу которой входит проведение работ, способствующих унификации национальных стандартов стран — членов МЭК на электротехническое и радиоэлектронное оборудование, аппаратуру, элементы и материалы путем разработки международных стандартов.

Стандарты МЭК после их утверждения национальными комитетами МЭК по процедуре, установленной Уставом и общими директивами МЭК, издаются Центральным бюро МЭК с параллельным расположением текстов на французском и английском языках. Советский комитет МЭК издает стандарты МЭК на русском языке от имени Центрального бюро.

Таблица 2.2. Стандарты, регламентирующие общие для электротехники нормы и правила

Номер ГОСТ (СТ СЭВ)	Название
ГОСТ 12.1.009-76 ГОСТ 721-77 (СТ СЭВ 779-77)	ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальные напряжения свыше 1000 В
ГОСТ 1494-77 (СТ СЭВ 3231-81) ГОСТ 6697-83 (СТ СЭВ 3687-82)	Электротехника. Буквенные обозначения основных величин Системы электроснабжения, источники, преобразователи и приемники электрической энергии переменного тока. Номинальные частоты от 0,1 до 10000 Гц и допускаемые отклонения
ГОСТ 6962-75	Транспорт электрифицированный с питанием от контактной сети. Ряд напряжений
ГОСТ 8865-70 (СТ СЭВ 782-77)	Материалы электроизоляционные для электрических машин, трансформаторов и аппаратов. Классификация по нагревостойкости
ГОСТ 13109-67	Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии у ее приемников, присоединенных к электрическим сетям общего назначения
ГОСТ 15543-70	Изделия электротехнические. Исполнения для разных климатических районов. Условия эксплуатации в части воздействия климатических факторов внешней среды
ГОСТ 15963-79	Изделия электротехнические для районов с тропическим климатом. Общие технические условия
ГОСТ 17412-72	Изделия электротехнические для районов с холодным климатом. Общие технические условия
ГОСТ 17516-72	Изделия электротехнические. Условия эксплуатации в части воздействия механических факторов внешней среды
ГОСТ 18311-80	Изделия электротехнические. Термины и определения основных понятий
ГОСТ 19348-82	Изделия электротехнические сельскохозяйственного назначения. Общие технические требования, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение
ГОСТ 19880-74 ГОСТ 21128-83	Электротехника. Основные понятия. Термины и определения Система электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальные напряжения до 1000 В и допускаемые отклонения
ГОСТ 22782.0-81 (СТ СЭВ 3141-81) ГОСТ 23216-78	Электрооборудование взрывозащищенное. Общие технические требования и методы испытаний Изделия электротехнические. Хранение, транспортирование, консервация, упаковка. Общие требования и методы испытаний
ГОСТ 23366-78	Ряды номинальных напряжений постоянного и переменного тока
ГОСТ 24682-81	Изделия электротехнические. Общие технические требования в части стойкости к воздействию специальных сред
ГОСТ 24683-81	Изделия электротехнические. Методы контроля стойкости к воздействию специальных сред
ГОСТ 24754-81 (СТ СЭВ 2310-80)	Электрооборудование рудничное нормальное. Общие технические требования и методы испытаний

Требования стандартов МЭК учитываются при разработке стандартов на конкретные виды электрооборудования. Степень соответствия указывается во вводной части стандарта.

2.2. Параметры электрической энергии

Значения номинальных напряжений на выводах электрически соединенных между

собой изделий, в том числе электрических машин, установлены ГОСТ 23366-78. Требования данного ГОСТ не распространяются на цепи, замкнутые внутри электрических машин; на цепи, для которых не характерны фиксированные значения напряжений, например на внутренние цепи питания электроприборов с регулированием скорости двигателя, и на цепи устройств компенсации реактивной

мощности, защиты, контроля, измерений, на электродах элементов и аккумуляторов.

Стандарты на конкретные группы и виды изделий, содержащие ряды напряжений, в том числе ГОСТ 21128-83, ГОСТ 721-77, устанавливающие номинальные напряжения для систем электроснабжения, сетей источников, преобразователей и приемников электрической энергии, являются по отношению к ГОСТ 23366-78 ограничительными и составляют с ним единый комплекс стандартов.

ГОСТ 23366-78 устанавливает следующие номинальные значения напряжений для изделий — потребителей, источников и преобразователей электрической энергии.

Номинальные напряжения потребителей:

основной ряд напряжений постоянного и переменного тока, В: 0,6; 1,2; 2,4; 6; 9; 12; 27; 40; 60; 110; 220; 380; 660; 1140; 3000; 6000; 10000; 20000; 35000;

вспомогательный ряд напряжений переменного тока, В:

1,5; 5; 15; 24; 80; 2000; 3500; 15000; 25000;

вспомогательный ряд напряжений постоянного тока, В:

0,25; 0,4; 1,5; 2; 3; 4; 5; 15; 20; 24; 48; 54; 80; 100; 150; 200; 250; 300; 400; 440; 600; 800; 1000; 1500; 2000; 2500; 4000; 5000; 8000; 12000; 25000; 30000; 40000.

Номинальные напряжения источников и преобразователей электрической энергии переменного тока, В:

6; 12; 28,5; 42; 62; 115; 120; 208; 230; 400; 690; 1200; 3150; 6300; 10500; 13800; 15750; 18000; 20000; 24000; 27000; 38500; 121000; 242000; 347000; 525000; 787000.

Номинальные напряжения источников и преобразователей электрической энергии постоянного тока, В:

6; 9; 12; 28,5; 48; 62; 115; 230; 460; 690; 1200; 3300; 6600.

Для источников электроэнергии авто-тракторной техники стандарт допускает применение номинальных напряжений 7 и 14 В переменного тока и 7, 14, 28 В постоянного тока, а также 36 В переменного тока с частотой 400 и 1000 Гц и 57 В постоянного тока для источников электроэнергии летательных аппаратов.

При коротких питающих линиях стандарт допускает номинальное напряжение источников и преобразователей, равное напряжению приемников.

Номинальные значения и допустимые

отклонения частот систем электроснабжения, источников, преобразователей и непосредственно присоединяемых к ним приемников электрической энергии, работающих в установившемся режиме на фиксированных частотах в диапазоне от 0,1 до 10000 Гц, установлены ГОСТ 6697-83. Указанный ГОСТ устанавливает следующий основной ряд номинальных частот источников электрической энергии, Гц:

0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10; 25; 50; 400; 1000; 10000.

Для преобразователей и приемников электрической энергии номинальные частоты, Гц, выбираются из ряда 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10; 12,5; $16\frac{2}{3}$; 50; 400; 1000; 2000; 4000; 10000.

Для ряда специальных приводов и источников их питания, в частности для центрифуг, сепараторов, деревообрабатывающих станков, электроинструмента, безредукторных электрошпинделей, электротермического оборудования, стандарт допускает применение дополнительных частот, Гц, из ряда 100, 150, 200, 250, 300, 500, 600, 800, 1200, 1600, 2400, 8000.

Для авиационной техники, летательных аппаратов и средств их обслуживания разрешена частота 6000 Гц.

Допустимые отклонения частот, % номинальной частоты, выбираются из ряда 0,0002; 0,0005; 0,001; 0,002; 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 5,0; 10 и устанавливаются в стандартах на конкретные виды источников, преобразователей или системы энергоснабжения.

Для сетей общего назначения нормы качества электрической энергии у ее приемников установлены ГОСТ 13109-67. Стандартом установлены следующие показатели качества электроэнергии:

при питании от электрических сетей однофазного тока — отклонение частоты, отклонение напряжения, размах колебаний частоты, размах изменений напряжений, коэффициент несинусоидальности напряжения;

при питании от электрических сетей трехфазного тока — отклонение частоты, отклонение напряжения, размах колебаний частоты, размах изменения напряжения, коэффициент несинусоидальности, коэффициенты несимметрии и неуравновешенности напряжения;

при питании от электрических сетей постоянного тока — отклонение напряжения, размах изменения напряжения, коэффициент пульсации напряжения.

2.3. Внешние воздействующие факторы

Для обеспечения надежной работы электрические машины должны быть способны противостоять воздействию факторов внешней среды, в условиях которых они предназначены работать.

По видам воздействия факторы внешней среды подразделяются на климатические, механические, специальные, биологические.

К климатическим факторам внешней среды относятся: температура, влажность воздуха, давление воздуха или газа (высота над уровнем моря), солнечная радиация, соляной туман, дождь, ветер, пыль (в том числе снежная), иней, резкая смена температур.

В ГОСТ 15150-69 даны характеристики микроклиматических районов по условиям температуры и влажности, указано географическое положение различных климатических районов на земном шаре, приведен перечень стран, относящихся к районам с влажным

Таблица 2.4. Условное обозначение категорий размещения электрических машин

Исполнение	Обозначение
Для эксплуатации на открытом воздухе	1
Для эксплуатации на открытом воздухе или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе (отсутствие прямого воздействия солнечной радиации и атмосферных осадков)	2
Для эксплуатации в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий	3
Для эксплуатации в помещениях с искусственно регулируемым климатическими условиями (например в закрытых отапливаемых производственных помещениях)	4
Для эксплуатации в помещениях с повышенной влажностью (например, в неотапливаемых и невентилируемых помещениях, в том числе в шахтах)	5

Таблица 2.3. Условное обозначение климатического исполнения электрических машин

Исполнение	Обозначение
Электрические машины, предназначенные для эксплуатации на суше, реках, озерах для микроклиматических районов:	
с умеренным климатом	У
с холодным климатом	ХЛ
с влажным тропическим климатом	ТВ
с сухим тропическим климатом	ТС
как с сухим, так и с влажным тропическим климатом для всех макроклиматических районов на суше (общеклиматическое исполнение)	Т
	О
Электрические машины, предназначенные для эксплуатации в макроклиматических районах с морским климатом:	
с умеренно-холодным морским климатом	М
с морским тропическим климатом, в том числе и на судах каботажного плавания	ТМ
на судах неограниченного района плавания	ОМ
Электрические машины, предназначенные для всех макроклиматических районов на суше и на море	В

и сухим тропическим климатом, и отмечены границы районов с холодным климатом в СССР.

ГОСТ 15150-69 устанавливает климатические исполнения изделий и категории климатических исполнений в зависимости от мест размещения при эксплуатации (табл. 2.3 и 2.4). Для всех климатических исполнений и категорий размещения в ГОСТ приведены значения рабочих и предельных температур окружающего воздуха при эксплуатации, данные по значению относительной влажности воздуха, нормы при воздействии на изделия содержащейся в воздухе пыли и коррозионно-активных агентов, а также верхние рабочие значения интегральной плотности теплового потока солнечной радиации и интенсивности дождя.

В условном буквенно-цифровом обозначении типоразмеров электрических машин на предпоследнем месте проставляется буква, обозначающая климатическое исполнение, и на последнем — цифра, обозначающая категорию размещения.

Конкретизация требования ГОСТ 15150-69 применительно к изделиям электротехники дана в ГОСТ 15543-70.

Электрические машины, предназначенные для эксплуатации в районах с холод-

ным климатом (исполнение ХЛ по ГОСТ 15150-69), должны соответствовать ГОСТ 17412-72, в котором установлены требования к выбору конструкций и материалов, к комплектации, правилам приемки и методам испытаний в части воздействия специфических факторов холодного климата.

Для районов с тропическим климатом электрические машины изготавливают в соответствии с требованиями ГОСТ 15963-79, в котором установлены предельно допустимые превышения температуры для изделий тропического исполнения и их частей в зависимости от температуры окружающего воздуха и класса нагревостойкости электрической изоляции, которые значительно ниже установленных для электрических изделий нормального исполнения.

К ГОСТ приложен перечень основных материалов, применяемых для изготовления оборудования для районов с тропическим климатом (конструкционные металлы и сплавы, электротехнические, магнитные и

электроизоляционные материалы, лаки, эмали, пластмассы, провода и т. д.).

Условия хранения и транспортирования электрических машин в части воздействия климатических факторов внешней среды определены ГОСТ 15150-69. Государственный стандарт устанавливает девять основных групп условий хранения изделий, характеризующихся совокупностью климатических факторов, действующих при хранении на изделия (табл. 2.5).

Для каждой из указанных групп стандарт устанавливает наибольшее и наименьшее значения температуры, относительной влажности воздуха, интенсивность дождя и другие климатические факторы.

Условия транспортирования электрических машин являются такими же, как условия хранения на открытых площадках: для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом на суше — по группе 8, для всех макроклиматических районов на суше, в том числе в районах с тропическим

Таблица 2.5. Обозначение условий хранения электрических машин

Условия хранения	Обозначение	
	основное	буквенное
Отапливаемые и вентилируемые склады, расположенные в любых макроклиматических районах	1	Л
Закрытые помещения с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности существенно меньше, чем на открытом воздухе, расположенные в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом	2	С
Закрытые помещения с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности существенно меньше, чем на открытом воздухе, расположенные в любых макроклиматических условиях, в том числе в районах с тропическим климатом	3	ЖЗ
Навесы или помещения, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе, расположенные в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом в условно чистой атмосфере	4	Ж2
Навесы или помещения, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе, расположенные в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом в атмосфере любых типов	5	ОЖ4
Навесы или помещения, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе, расположенные в любых макроклиматических районах, в том числе в районах с тропическим климатом, в атмосфере любых типов	6	ОЖ2
Открытые площадки, расположенные в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом в условно чистой атмосфере	7	Ж1
Открытые площадки, расположенные в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом в атмосфере любых типов	8	ОЖЗ
Открытые площадки, расположенные в любых макроклиматических районах, в том числе в районах с тропическим климатом, в атмосфере любых типов	9	ОЖ1

климатом, и при морских перевозках — 9.

Условия транспортирования электрических машин в закрытом транспорте (железнодорожных вагонов, контейнерах, закрытых автомашинах, трюмах и т. д.) являются такими же, как условия хранения под навесом: для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом на суше — по группе 5, для всех микроклиматических районов на суше, в том числе в районах с тропическим климатом — по группе 6, при морских перевозках в трюмах — по группе 3. При транспортировании самолетом дополнительно должны учитываться воздействия низкой температуры, резкой смены температур и пониженного давления воздуха.

Факторы внешнего механического воздействия на электрические машины определены ГОСТ 17516-72, которым в зависимости от места установки электрических машин предусматриваются группы условий эксплуатации М1-М31, характеризующиеся диапазонами частот вибрационных нагрузок, ускорениями, длительностью ударов и видами ударов (одиночные, многократные). Стандарт рекомендует изготавливать изделия, пригодные для нескольких групп условий эксплуатации.

Электрические машины общего назначения, к которым не предъявляются особые требования в части воздействия на них внешних механических факторов, относят к группе эксплуатации М1. Эта группа характеризуется размещением электрических машин при эксплуатации непосредственно на стенах предприятий, фундаментах и т. п. при внешних источниках механических воздействий, создающих вибрации с частотой 35 Гц при максимальном ускорении 0,5g и отсутствии ударных нагрузок.

Методы контроля устойчивости электрических машин к воздействию внешних климатических и механических факторов установлены ГОСТ 16962-71.

При испытаниях электрических машин за нормальные значения климатических факторов принимаются:

Температура, °С	25 ± 2,5
Относительная влажность воздуха, %	45—80
Атмосферное давление, кПа	84—106

Требования к электрическим машинам, предназначенным для эксплуатации в специальных (агрессивных) средах, определены ГОСТ 24682-81. Стандарт также устанавливает виды химстойких исполнений электрических машин и классификацию специальных сред по группам:

- 1 — масла, смазки на основе нефтепродуктов и синтетические;
- 2 — топлива на основе нефтепродуктов;
- 3 — органические растворители;
- 4 — среды заполнения и контрольные среды:
 - а) среды заполнения А и контрольные среды;
 - б) среды заполнения В;
- 5 — агрессивные среды;
- 6 — рабочие растворы;
- 7 — специальные охлаждающие жидкости.

Под специальными средами понимаются среды (неорганические и органические соединения, масла, смазки, растворители, топлива, рабочие растворы, рабочие тела), внешние по отношению к изделию, которые вызывают или могут вызывать ограничение или потерю работоспособности в процессе эксплуатации или хранения.

Виды специальных сред, входящих в конкретную группу, приведены в обязательном приложении к данному стандарту. Стандарт устанавливает виды химстойких исполнений в зависимости от концентрации агрессивных сред и увязки их с климатическими исполнениями.

Методы испытаний изделий на стойкость к воздействию специальных сред регламентированы ГОСТ 24683-81.

2.4. Номинальные данные электрических машин

Стандартизация электрических машин в части регламентации номинальных данных, установочно-присоединительных размеров и взаимной увязки этих показателей имеет чрезвычайно большое значение не только для изготовителей электрических машин, но и для всех отраслей народного хозяйства, потребляющих электрические машины, так как только на этой основе может быть обеспечена взаимозаменяемость машин.

По установившемуся порядку основополагающие стандарты на электрические машины устанавливают общие для всех машин шкалы номинальных мощностей, номинальных частот вращения и ряды установочно-присоединительных размеров.

Взаимная увязка номинальных данных и установочно-присоединительных размеров осуществляется в ГОСТ или ТУ на конкретные группы (типы) машин. Такой порядок соответствует принятому в международной практике. Международная электротехни-

ческая комиссия в публикации 72 установила нормализованную шкалу мощностей от 0,06 до 1000 кВт и ряды установочно-присоединительных размеров машин. Шкала мощностей и установочные размеры электрических машин нормализованы в МЭК отдельно, рекомендации по их взаимной увязке МЭК не дает.

В СССР стандартизованный ряд номинальных мощностей установлен ГОСТ 12139-84. Шкала регламентированных мощностей охватывает диапазон мощностей от 0,00001 до 10 000 кВт:

0,00001; 0,000025; 0,00006; 0,0001; 0,00016; 0,00025; 0,0004; 0,0006; 0,001; 0,0016; 0,0025; 0,004; 0,006; 0,01; 0,016; 0,025; 0,04; 0,06; 0,09; 0,12; 0,18; 0,25; 0,37; 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3; 4; 5,5; 7,5; 11; 15; 18,5; 22; 37; 45; 55; 75; 90; 110; 132; 150; 160; 200; 220; 250; 280; 315; 335; 355; 375; 400; 425; 450; 500; 530; 560; 600; 630; 670; 710; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 3550; 4000; 5000; 6300; 8000; 10 000.

В технически обоснованных случаях стандарт допускает также применение следующих мощностей, кВт:

1,8; 9; 10; 13; 17; 20; 25; 30; 33; 40; 50; 80; 100; 125; 1120; 1400; 1800; 2250; 2800; 4500; 5600; 7100; 9000.

Для генераторов электроагрегатов и электростанций разрешен дополнительный ряд мощностей, кВт:

0,5; 1,0; 2,0; 8,0; 16,0; 60,0; 100.

В необходимых случаях для двигателей допускается указывать не мощность, а момент на валу, Н·м, с числовыми значениями, соответствующими приведенным выше мощностям.

Шкалы номинальных частот вращения установлены ГОСТ 10683-63. Стандарт распространяется на электрические машины всех видов, кроме машин наземного, водного и воздушного транспорта с приводом, работающим с переменной частотой вращения, гидрогенераторов мощностью свыше 10 000 кВт, двигателей гироскопов и некоторых других машин, например применяемых в системах автономной синхронизации, двигателей со встроенными редукторами и т. д.

Установленные стандартом номинальные частоты вращения, об/мин генераторов: 400, 500, 600, 750, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 8000, 10 000, 12 000, 15 000; двигателей:

25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 750, 1000, 1500, 2000, 2200, 3000, 4000, 5000, 6000, 8000, 10 000, 12 000, 15 000, 18 000, 20 000, 22 000, 30 000, 40 000, 60 000.

Стандарт нормирует также допустимые

отклонения от установленной номинальной частоты вращения, которые для генераторов составляют $\pm 5\%$, а для двигателей устанавливаются в зависимости от номинальной мощности.

Для машин переменного тока, за исключением коллекторных, стандартом установлены шкалы номинальных частот вращения в зависимости от частоты переменного тока.

Для наиболее распространенных асинхронных двигателей на частоту переменного тока 50 Гц синхронные номинальные частоты вращения, об/мин,

100; 125; 150; 160,6; 187,5; 250; 300; 375; 500; 600; 750; 1000; 1500; 3000.

Фактическая номинальная частота вращения асинхронных двигателей меньше и зависит от их номинального скольжения, которое оговаривается в ГОСТ или ТУ на конкретные типы двигателей.

Для синхронных двигателей на частоту 50 Гц номинальные частоты вращения приняты такими же, как и для асинхронных двигателей. Допустимые отклонения номинальной частоты вращения синхронных двигателей определяются допустимыми отклонениями частоты источника питания.

Для однофазных и универсальных коллекторных двигателей установлены следующие номинальные частоты вращения, об/мин:

1000; 1500; 2000; 3000; 5000; 8000; 10 000; 12 000; 15 000; 18 000 и 22 000.

2.5. Конструктивное исполнение электрических машин по способу монтажа

Конструктивное исполнение электрических машин по способу монтажа (крепление и сочленение) и условное обозначение этих исполнений в технической документации установлены ГОСТ 2479-79.

Условное обозначение состоит из двух букв латинского алфавита IM и четырех цифр:

$$IM \frac{X}{1} \frac{X}{2} \frac{X}{3} \frac{X}{4}.$$

Для конструктивных исполнений, предусмотренных ГОСТ 2479-79, но не входящих в СТ СЭВ 246-76 и публикацию МЭК 34-7, установлено условное обозначение одной буквой M и теми же цифрами.

Стандарт устанавливает следующие условные обозначения. Первая цифра — конструктивное исполнение:

- 1 — на лапах с подшипниковыми шитами (с пристроенным редуктором);
- 2 — на лапах с подшипниковыми шитами, с фланцем на подшипниковом шите (или щитах);
- 3 — без лап с подшипниковыми шитами, с фланцем на одном подшипниковом шите (или щитах), с цокольным фланцем;
- 4 — без лап с подшипниковыми шитами, с фланцем на станине;
- 5 — без подшипниковых щитов;
- 6 — на лапах с подшипниковыми шитами и со стоячковыми подшипниками;
- 7 — на лапах со стоячковыми подшипниками (без подшипниковых щитов);
- 8 — с вертикальным валом, кроме групп от IM1 до IM4;
- 9 — специального исполнения по способу монтажа.

Вторая и третья цифры — способы монтажа (пространственное положение машины) и направление конца вала, причем в обозначении направления конца вала (3-я цифра) цифра 8 обозначает, что машина может работать при любом из направлений конца вала, определенных цифрами 8—7, а цифра 9 указывает, что направление конца вала машины отлично от определенных цифрами от 0 до 8. В этом случае направление конца вала указывается дополнительно в технической документации.

Четвертая цифра обозначает исполнение конца вала электрической машины:

- 0 — без конца вала;
- 1 — с одним цилиндрическим концом вала;
- 2 — с двумя цилиндрическими концами вала;
- 3 — с одним коническим концом вала;
- 4 — с двумя коническими концами вала;
- 5 — с одним фланцевым концом вала;
- 6 — с двумя фланцевыми концами вала;
- 7 — с фланцевым концом вала на стороне D и цилиндрическим концом вала на стороне N, причем под стороной D понимается при одном конце вала для двигателей — приводная, а для генераторов — приводимая сторона; при двух концах вала — сторона с концом вала большего размера, а при равных диаметрах для машин на лапах с коробкой выводов, расположенных не сверху, — сторона, с которой коробка выводов видна справа;
- 8 — прочие исполнения конца вала.

Примеры условных обозначений конструктивных исполнений электрических машин приведены в табл. 2.6.

Буквенные обозначения установочно-присоединительных и габаритных размеров

электрических машин регламентированы ГОСТ 4541-70. Стандартом предписано применять для обозначений строчные буквы латинского и греческого алфавитов с подстрочными индексами:

- b — ширина (в направлении, перпендикулярном оси вала);
- d — диаметр;
- h — высота;
- l — длина (в направлении оси вала);
- r — радиус;
- t — размер в шпоночных соединениях;
- α — угловой размер.

Подстрочные индексы к буквенным обозначениям установлены в зависимости от их назначения:

- 1—9 — для валов;
- 10—19 — для размеров лап и фундаментных плит;
- 20—29 — для размеров фланцев;
- 30—80 — для остальных установочно-присоединительных размеров;
- 80 и более — для размеров агрегатов и специальных машин.

Примеры обозначений установочно-присоединительных размеров даны на рис. 2.1.

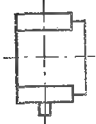
Для упрощения монтажа электрических машин и агрегатов с горизонтальной осью вращения и непосредственно соединяемых с ними на общем или разных основаниях неэлектрических вращающихся машин (ведомых или ведущих) установлен единый нормализованный ряд высот осей вращения.

Согласно ГОСТ 13267-73 за высоту оси вращения принимают расстояние оси вращения до опорной плоскости машины. Толщина регулировочных прокладок, применяемых при установке машины, в высоту оси вращения не входит. Дистанционная прокладка входит в высоту оси вращения. Установленные стандартом номинальные высоты оси вращения построены по геометрическим рядам предпочтительных чисел, определенных в свою очередь ГОСТ 8032-84, в котором даются четыре основных десятичных ряда геометрической прогрессии, имеющих знаменатель φ :

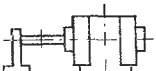
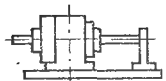
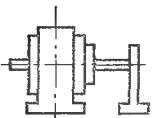
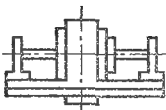
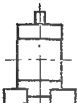
Обозначение ряда	Знаменатель ряда
$R5$	$\varphi_5 = \sqrt[5]{10} = 1,6$
$R10$	$\varphi_{10} = \sqrt[10]{10} = 1,25$
$R20$	$\varphi_{20} = \sqrt[20]{10} = 1,12$
$R40$	$\varphi_{40} = \sqrt[40]{10} = 1,06$

Число в обозначении ряда представляет собой степень корня из 10 и одновременно показывает количество членов в пределах

Таблица 2.6. Примеры условного обозначения форм конструктивного исполнения электрических машин

Группа исполнения	Конструктивное исполнение	Обозначение
IM1 Машины на лапах с подшипниковыми щитами	С двумя подшипниковыми щитами, на лапах, вал горизонтальный с цилиндрическим концом	IM1001 
	То же, вал вертикальный с цилиндрическим концом, направленным вниз	IM1011 
IM2 Машины на лапах с подшипниковыми щитами с фланцем на подшипниковом щите (или щитах)	На лапах, с фланцем на одном подшипниковом щите, доступным с обратной стороны, вал горизонтальный с цилиндрическим концом	IM2001 
	На лапах, с фланцем на одном подшипниковом щите, не доступным с обратной стороны, вал вертикальный с цилиндрическим концом, направленным вверх	IM2131 
IM3 Машины без лап, с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном подшипниковом щите (или щитах)	С двумя подшипниковыми щитами, с фланцем на стороне <i>D</i> , доступным с обратной стороны, вал горизонтальный с цилиндрическим концом	IM3001 
	С двумя подшипниковыми щитами, с фланцами, доступными с обратной стороны на обоих подшипниковых щитах, вал вертикальный с цилиндрическими концами	M3912 
IM4 Машины без лап с фланцем на станине	С двумя подшипниковыми щитами, с фланцем на стороне <i>D</i> , доступным с обратной стороны, вал горизонтальный с цилиндрическим концом	IM4001 
	С одним подшипниковым щитом, с фланцем на стороне <i>N</i> , доступным с обратной стороны, вал вертикальный с цилиндрическим концом, направленным вверх	M4731 
IM5 Машины без подшипниковых щитов	Без станины с ротором и горизонтальным валом с цилиндрическим концом	IM5001 

Продолжение табл. 2.6

Группа исполнения	Конструктивное исполнение	Обозначение
IM5 Машины без подшипниковых щитов	Со станиной на лапах, с ротором, без вала	IM5410 
IM6 Машины с подшипниковыми щитами и стояковыми подшипниками	На лапах с двумя подшипниковыми щитами, с одним стояковым подшипником на стороне D, без фундаментальной плиты	IM6000 
	Со станиной на лапах с фундаментной плитой, с одним стояковым подшипником на стороне N, с одним подшипниковым щитом	IM6211 
IM7 Машины со стояковыми подшипниками (без подшипниковых щитов)	Без фундаментной или опорной плиты, станина на лапах, с одним стояковым подшипником	IM7001 
	С фундаментной плитой на приподнятых лапах, с двумя стояковыми подшипниками	M7610 
IM8 Машины с вертикальным валом, кроме машин групп от IM1 до IM4	С подпятником и направляющим подшипником, расположенными под ротором, с валом, без маховика	IM8201 
	С подпятником и направляющим подшипником, расположенными над ротором, с валом, без маховика	IM8411 
IM9 Машины специального исполнения по способу монтажа	Встраиваемое исполнение с цилиндрической станиной (или без станины), с двумя подшипниковыми щитами, вал горизонтальный с цилиндрическим концом	IM9001 
	С двумя подшипниковыми щитами на лапах в горизонтальной плоскости, вал вертикальный с цилиндрическим концом	M9631 

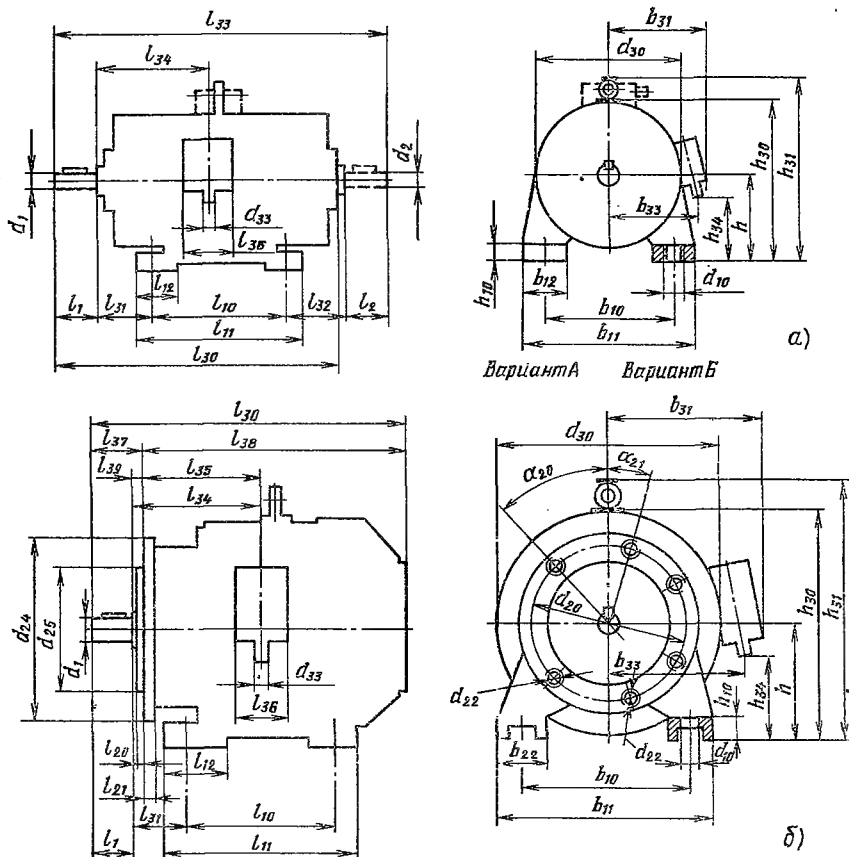


Рис. 2.1. Примеры обозначений установочных и присоединительных размеров электрических машин при конструктивном исполнении IM1 (а) и IM2 (б)

ряда от 1 до 10 (включая 10), например в ряде R10 знаменатель равен $\sqrt[10]{10}$, а количество членов равно 10. Каждый ряд построен на определенном знаменателе прогрессии Φ_3 , Φ_{10} , Φ_{20} , Φ_{40} в интервале от 1 до 10. Числа свыше 10 получаются умножением на 10, 100, 1000 и т. д., а числа меньше 1 — умножением на 0,1; 0,01; 0,001 и т. д.

ГОСТ 8032-84 указывает, что при выборе рядов для тех или иных параметров, размеров и других числовых характеристик следует предпочитать менее частый ряд (с большим знаменателем прогрессии) более частому ряду (с меньшим знаменателем прогрессии).

Номинальные высоты оси вращения стандартизованы в интервале от 25 до 1000 мм.

ГОСТ 13267-73 допускает принимать значения высот электрических машин по трем рядам предпочтительных чисел: R5,

R10, R20. Ряд R20 включает в себя следующие номинальные значения высот осей вращения, мм:

25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900 и 1000.

Для неэлектрических машин номинальные значения высоты осей вращения установлены по ряду R40.

Для машин фланцевого исполнения без лап, встраиваемых машин, для машин с лапами сбоку станины, не являющихся конструктивными модификациями машин основного исполнения на лапах, устанавливают условную высоту оси вращения, вычисляемую по формуле

$$h' = (0,51 \div 0,54) d_{30}.$$

Вычисленную по формуле условную высоту оси вращения округляют до ближай-

шего меньшего значения высоты оси вращения в соответствии с ГОСТ 13267-73.

Конкретные значения установочно-присоединительных размеров и их увязка между собой определены тремя стандартами:

ГОСТ 12126-71 — регламентирует установочно-присоединительные размеры электрических машин на лапах с высотой оси вращения до 71 мм и с фланцевым креплением при диаметрах окружности расположения центров гладких отверстий на крепительном фланце от 16 до 165 мм;

ГОСТ 18709-73 — дает размеры машин на лапах, с фланцем и комбинированных при высоте оси вращения от 80 до 400 мм и диаметрах окружности расположения гладких отверстий на крепительном фланце от 215 до 1080 мм;

ГОСТ 20839-75 — охватывает размеры машин с крепительными фланцами с диаметрами окружности расположения гладких отверстий от 1250 до 2000 мм и машин с креплением на лапах при высоте оси вращения от 450 до 1000 мм, включая электрические машины с установочной плитой и стойковыми подшипниками.

Указанные стандарты нормируют также взаимную увязку применяемых в электромашиностроении диаметров и длин концов валов. Шпоночные канавки, резьбовые концы, фаски, радиусы скругления и другие размеры регламентируются ГОСТ 12080-66 для цилиндрических концов валов и ГОСТ 12081-72 для конических концов валов.

Допускаемые крутящие моменты, передаваемые концами валов, должны соответствовать значениям, приведенным в ГОСТ 24807-83.

Для вращающихся электрических машин групп конструктивных исполнений по способу монтажа IM1—IM6 ГОСТ 8592-79 установлены допустимые отклонения от стандартизованных установочно-присоединительных размеров и определены методы контроля.

2.6. Исполнения электрических машин по степени защиты от воздействия окружающей среды

Под понятием «степень защиты электрических машин» подразумевается защита обслуживающего персонала от соприкосновения с токоведущими или вращающимися частями, находящимися внутри машин, и защита от попадания внутрь твердых, посторонних тел и воды. Принятые в СССР нормы защиты электротехнического оборудо-

ования, в том числе электрических машин, базируются на Публикации МЭК 529 (издания 1976 г.), которой соответствует ГОСТ 14254-80.

По этому ГОСТ буквенно-цифровое исполнение состоит из латинских букв IP и двух цифр. Первая цифра характеризует степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или вращающимися частями, находящимися внутри машины, а также степень защиты самой машины от попадания в нее твердых посторонних тел; вторая цифра — степень защиты от проникновения воды внутрь машины.

Установленные стандартом степени защиты приведены в табл. 2.7 и 2.8.

Стандарт допускает при необходимости указывать с помощью дополнительной прописной буквы латинского алфавита в ТУ или в ГОСТ на конкретные серии и типы машин дополнительные данные. Эта буква должна следовать за цифрами в обозначении степени защиты.

Буквы S, M и W должны использоваться только со следующими значениями:

S — испытано на проникновение воды, когда изделие не работает (например, неподвижная машина);

M — испытано на проникновение воды, когда изделие работает (например, вращающаяся машина);

W (следует сразу после букв IP) — изделие с таким обозначением предназначено для использования в особых климатических условиях при осуществлении дополнительных мер защиты в конструкции изделия или при эксплуатации.

Отсутствие дополнительных букв означает, что изделие соответствует данной степени защиты во всех нормальных условиях работы.

Если для изделия требуется указать степень защиты только одной цифрой, то пропущенная цифра заменяется буквой X, например IPX 5. ГОСТ 14254-80 устанавливает также и методы испытаний на соответствие степени защиты.

Применительно к электрическим машинам допустимые степени защиты установлены ГОСТ 17494-72, стандарт учитывает требования Публикации МЭК 34-5 и является ограничительным по отношению к ГОСТ 14254-80. Допустимые данным ГОСТ для электрических машин степени защиты приведены в табл. 2.9.

Для отдельных видов электрических машин допускаются степени защиты IP57 и IP58. ГОСТ 17494-72 не распространяется на

Таблица 2.7. Степени защиты обслуживающего персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями электротехнических изделий и от попадания твердых тел внутрь корпуса

Первая цифра условного обозначения	Степень защиты
0	Специальная защита отсутствует
1	Защита от проникновения внутрь оболочки большого участка поверхности человеческого тела, например руки, и от проникновения твердых тел размером свыше 50 мм
2	Защита от проникновения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной не более 80 мм и от проникновения твердых тел размером свыше 12 мм
3	Защита от проникновения внутрь оболочки инструментов, проволоки и т. д. диаметром или толщиной более 2,5 мм и от проникновения твердых тел размером более 1,0 мм
4	Защита от проникновения внутрь оболочки проволоки и от проникновения твердых тел размером более 1 мм
5	Проникновение внутрь оболочки пыли не предотвращено полностью. Однако пыль не может проникать в количестве, достаточном для нарушения работы изделия
6	Проникновение пыли предотвращено полностью

Таблица 2.8. Степени защиты электротехнических изделий от проникновения воды

Вторая цифра условного обозначения	Степень защиты
0	Защита отсутствует
1	Защита от капель воды: капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на изделие
2	Защита от капель воды при наклоне оболочки до 15°: капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на изделия при наклоне его оболочки на любой угол до 15° относительно нормального положения
3	Защита от дождя: дождь, падающий на оболочку под углом 60° от вертикали, не должен оказывать вредного воздействия на изделие
4	Защита от брызг: вода, разбрызгиваемая на оболочку в любом направлении, не должна оказывать вредного воздействия на изделие
5	Защита от водяных струй: струя воды, выбрасываемая в любом направлении на оболочку, не должна оказывать вредного воздействия на изделие
6	Защита от волн воды: вода при волнении не должна попадать внутрь оболочки в количестве, достаточном для повреждения изделия
7	Защита при погружении в воду: вода не должна проникать в оболочку, погруженную в воду, при определенных условиях давления и времени в количестве, достаточном для повреждения изделия
8	Защита при длительном погружении в воду: изделия пригодны для длительного погружения в воду при условиях, установленных изготовителем

электрические машины, предназначенные для работы во взрывоопасной среде и в особых климатических условиях (например, тропи-

ческих, при воздействии влажности, инея, химических реагентов, плесневых грибов и т. д.).

Таблица 2.9. Степени защиты электрических машин

Степени защиты персонала от соприкосновения и попадания посторонних тел	Степени защиты от проникновения воды								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	IP00	IP01	—	—	—	—	—	—	—
1	IP10	IP11	IP12	IP13	—	—	—	—	—
2	IP20	IP21	IP22	IP23	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	IP43	IP44	—	—	—	—
5	—	—	—	—	IP54	IP55	IP56	—	—
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—

РАЗДЕЛ 3

НАГРЕВ И ОХЛАЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

3.1. Распределение потерь по объему и нагрев электрических машин

При электромеханическом преобразовании энергии часть потребляемой энергии всегда преобразуется в тепловую. Разность между потребляемой электрической машиной энергией и отдаваемой называют потерями и для удобства сравнения с мощностью машины оценивают за единицу времени и выражают в единицах мощности — Вт или кВт.

Потери в машине в зависимости от вызывающих их физических процессов подразделяют на электрические, магнитные, механические, вентиляционные и добавочные или дополнительные. Каждый вид потерь локализован в определенных участках объема машины: электрические потери — в проводниках обмоток, соединительных проводах и в скользящих контактах (щетки — коллектор или щетки — контактные кольца); магнитные потери, включающие потери на вихревые токи и гистерезис, — в стали участков магнитопровода с переменным магнитным потоком; механические потери, включающие потери на трение в подшипниках, на трение вращающихся частей машины о воздух или газ и трение щеток о коллектор или контактные кольца, — соответственно в подшипниках, на поверхностях вращающихся деталей, коллекторов или контактных колец. Вентиляционные потери непосредственного влияния на нагрев

машины не оказывают, так как энергия, затрачиваемая на вентиляцию, преобразуется не в тепловую, а в кинетическую энергию движения охлаждающего газа. В генераторах на вентиляцию расходуется мощность приводного двигателя, поэтому выделения тепловой энергии в объеме генератора за счет вентиляционных потерь не происходит. В двигателях на вентиляцию расходуется часть электромагнитной энергии, передаваемой от статора машины к ротору, поэтому вентиляционные потери увеличивают потребляемую двигателем мощность.

Дополнительные потери подразделяют на потери холостого хода и потери короткого замыкания. Первые включают поверхностные и пульсационные потери, возникающие от пульсаций индукции в зазоре электрической машины. Потери этого вида имеют место как при холостом ходе машины, так и при ее работе с нагрузкой. Дополнительные потери короткого замыкания возникают лишь при нагрузке машины. К ним относят потери в проводниках обмотки, обусловленные высшими гармоническими поля в машине, не учтенные в расчете других видов потерь. Расчет дополнительных потерь короткого замыкания в настоящее время наименее точен по сравнению с расчетом других видов потерь. ГОСТ 183-74 предписывает учитывать этот вид потерь в размере 0,5% потребляемой мощности при нагрузке машины.

Потери и характер их распределения в объеме машины формируют ее температурное поле.

3.2. Допустимая температура частей электрической машины

Особенностью электрических машин является тесное конструктивное сочетание металлов и изоляции, т. е. материалов, имеющих резко различные тепловые характеристики. В то время как металлы сохраняют свои рабочие свойства при температурах до 400—500 °С и выше, верхний предел допустимого нагрева изоляционных материалов, применяемых в электромашиностроении, в зависимости от класса их нагревостойкости составляет 90—180 °С (табл. 3.1). В настоящее время в электрических машинах применяются изоляционные материалы классов нагревостойкости Е, В и F (ГОСТ 8865-70). Материалы класса Н используются значительно реже; материалы классов нагревостойкости Y и А в современных электрических машинах практически не применяются. В последние годы разработаны изоляционные материалы с допустимой рабочей температурой 200—240 °С, но они находят применение лишь в машинах специального назначения [4].

Диэлектрические свойства изоляционных материалов с течением времени ухудшаются. При длительной эксплуатации изоляция усыхает, уменьшается ее механическая прочность, снижается пробивное напряжение. Этот процесс называют старением изоляции. Интенсивность старения во многом зависит от температуры. Чем выше рабочая температура изолированного изделия, тем быстрее происходит старение и уменьшается срок службы изоляции. При нормировании допустимого нагрева частей электрической машины исходят из того, чтобы соприкасающаяся с ними или расположенная в непосредственной близости от них изоляция могла выполнять свои функции в течение расчетного срока эксплуатации машины. Поэтому предельно допустимый нагрев частей электрической машины зависит от класса нагревостойкости изоляции.

Нагрев частей электрической машины может быть определен расчетным путем на стадии проектирования или экспериментально во время тепловых испытаний готовых машин. Измерение температуры частей электрической машины в процессе ее

Таблица 3.1. Нагревостойкость электроизоляционных материалов

Класс нагревостойкости	Температура, °С	Электроизоляционные материалы, соответствующие данному классу нагревостойкости
Y	90	Непропитанные и непотраченные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка, шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
A	105	Пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка или шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
E	120	Некоторые синтетические органические пленки, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
B	130	Материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
F	155	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
H	180	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
C	Более 180	Слюда, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые без связующих составов или с неорганическими или элементоорганическими связующими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов

эксплуатации является способом контроля нормальной работы машины. Для учета влияния условий, в которых работают машины, ГОСТ устанавливает не абсолютную допустимую температуру ее частей, а превышение их температуры над температурой охлаждающей среды при определенном атмосферном давлении. Температура охлаждающей газообразной среды принимается равной 40°C, а давление регламентируется местом эксплуатации машины на высоте не более 1000 м над уровнем моря (табл. 3.2). Эти нормы обязательны для машин общего назначения. Для специальных машин они могут быть изменены в зависимости от ряда условий, например сокращенного расчетного срока службы машины, повышенных требований к надежности и т. п., которые оговариваются в ТУ или ГОСТ на машины данного типа.

Предельно допустимая температура частей электрических машин, рассчитанная как сумма допустимого превышения их температуры, взятого по табл. 3.2, и температуры охлаждающей среды (40°C) оказывается несколько меньше, чем допустимая температура изоляционных материалов данного класса нагревостойкости (см. табл. 3.1). Это устанавливается в связи с тем, что методы расчета, измерения или контроля температуры частей электрической машины позволяют либо зафиксировать температуру их отдельных нескольких точек (методы гермометра и температурных индикаторов — термомпар, термопреобразователей), либо определить среднюю температуру какой-либо части машины, например среднюю температуру ее обмотки или части обмотки (метод сопротивления).

Предпочтительным методом измерения температур обмоток, указанных в п. 1 табл. 3.2, является метод температурных индикаторов, для всех остальных обмоток — метод сопротивления. Если одновременно с определением температуры обмоток методом сопротивления или с помощью температурных индикаторов производится отсчет по термометру, то превышения температуры наиболее нагретых точек по показаниям термометра не должны быть больше 65°C для частей машины с изоляцией класса нагревостойкости А, 80°C — класса Е, 90°C — класса В, 110°C — класса F и 135°C — класса Н.

Для обмоток высоковольтных машин с воздушным охлаждением на номинальное напряжение свыше 11000 В, установленных на высоте более 1000 м над уровнем моря, предельно допустимые превышения температуры, указанные в табл. 3.2, снижаются на

каждые полные или неполные 1000 В при измерениях термометром на 1,5°C, при измерениях температурными индикаторами при номинальных напряжениях в пределах 11000—17000 В — на 1°C и при напряжении свыше 17000 В — дополнительно на 0,5°C на каждые полные или неполные 1000 В.

Когда температура газообразной охлаждающей среды отлична от 40°C, предельно допустимые превышения температур частей электрической машины пересчитываются. При температуре охлаждающей среды выше 40°C (но не более 60°C) они должны быть уменьшены на разность между фактической температурой охлаждающей среды и 40°C. При температуре охлаждающей среды выше 60°C допустимые превышения температуры устанавливаются по согласованию с предприятием-изготовителем. При температуре газообразной охлаждающей среды ниже 40°C предельно допустимые превышения температур могут быть увеличены на разность между 40°C и фактической температурой охлаждающей среды, но не более чем на 10°C. Этот пересчет может быть произведен для всех электрических машин, кроме турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов, для которых допускаемые превышения при температуре газообразной охлаждающей среды меньше 40°C указаны в стандартах или в технических условиях на эти машины.

Предельно допустимые превышения температуры частей электрических машин, предназначенных для установки на высоте над уровнем моря, превышающей 1000 м (но не более 4000 м), в тех случаях, когда измерения производятся на высоте до 1000 м, уменьшаются по сравнению с указанными в табл. 3.2 на 1°C на каждые полные или неполные 100 м сверх 1000 м при условии, что температура охлаждающей среды не превышает 40°C. Если же абсолютное давление в охлаждающей системе машины соответствует высоте над уровнем моря 1000 м и поддерживается постоянным независимо от высоты установки машины, то поправку к допускаемым превышениям температуры, зависящую от высоты установки машины над уровнем моря, не вводят.

Допустимая температура подшипников машины независимо от температуры охлаждающей среды и высоты установки над уровнем моря не должна превышать 80°C для подшипников скольжения (температура масла при этом не должна быть более 65°C) и 100°C для подшипников качения. Более высокая температура допускается только при применении специальных подшипников.

Таблица 3.2. Предельно допустимые превышения температуры частей электрических машин при температуре газообразной охлаждающей среды 40 °С и высоте над уровнем моря не более 1000 м

№ п/п.	Части электрических машин	Изоляционный материал класса нагревостойкости														
		А			Е			В			F			H		
		Предельно допустимые превышения температур, °C, при измерении														
		методом термометра	методом сопротивления	методом темпера- турных индикато- ров, уложенных в паз	методом термометра	методом сопротивления	методом темпера- турных индикато- ров, уложенных в паз	методом термометра	методом сопротивления	методом темпера- турных индикато- ров, уложенных в паз	методом термометра	методом сопротивления	методом темпера- турных индикато- ров, уложенных в паз	методом термометра	методом сопротивления	методом темпера- турных индикато- ров, уложенных в паз
1	Обмотки перемен- ного тока машин мощностью 5000 кВ·А и выше или с длиной сердеч- ника 1 м и более	—	60	60	—	70	70	—	80	80	—	100	100	—	125	125
2	Обмотки: а) переменного то- ка машин мощ- ностью менее 5000 кВ·А с дли- ной сердечника менее 1 м б) возбуждения машин постоян- ного и перемен- ного тока с воз- буждением по- стоянным током, кроме указанных в пп. 3—5 настоя- щей таблицы в) якорные, соеди- ненные с коллек- тором	50	60	—	65	75	—	70	80	—	85	100	—	105	125	—

3	Обмотки возбуждения неявнополюсных машин с возбуждением постоянным током	—	—	—	—	—	—	—	90	—	—	110	—	—	135	—
4	Одноякорные обмотки возбуждения с оголенными поверхностями	65	65	—	80	80	—	90	90	—	110	110	—	135	135	—
5	Обмотки возбуждения малого сопротивления, имеющие несколько слоев, и компенсационные обмотки	60	60	—	75	75	—	80	80	—	100	100	—	125	125	—
6	Изолированные обмотки, непрерывно замкнутые на себя	60	—	—	75	—	—	80	—	—	100	—	—	125	—	—
7	Неизолированные обмотки, непрерывно замкнутые на себя	} Превышение температуры этих частей не должно достигать значений, которые создавали бы опасность повреждения самих элементов или соседних частей														
8	Сердечники и другие стальные части, не соприкасающиеся с изолированными обмотками															
9	Сердечники и другие стальные части, соприкасающиеся с изолированными обмотками	60	—	60	75	—	75	80	—	80	100	—	100	125	—	125
10	Коллекторы и контактные кольца незащищенные и защищенные	60	—	—	70	—	—	80	—	—	90	—	—	100	—	—

Примечания: 1. Для стержневых обмоток ротора асинхронных машин допускается по согласованию с заказчиком иметь превышения температуры по п. 4.
 2. Превышения температуры, указанные в п. 9, не должны превосходить допустимых значений для соприкасающихся обмоток.

В первом приближении для оценки нагрева электрическую машину можно представить как однородное тело с источниками тепла (потерями), равномерно распределенными внутри его объема. При неизменных во времени потерях процесс нагревания поверхности машины в этом случае описывается уравнением теплового баланса [18]

$$\sum P dt = Cd(\Delta\theta) + \alpha S \Delta\theta dt,$$

где $\sum P$ — сумма потерь в объеме машины, Вт; C — теплоемкость машины, $C = ct$, c — удельная теплоемкость материала машины, Дж/(кг·°C); m — масса машины, кг; α — коэффициент теплоотдачи с поверхности, Вт/(м²·°C), определяющий мощность, рассеиваемую с 1 м² площади поверхности при превышении температуры поверхности над охлаждающей средой, равной 1°C; S — поверхность охлаждения, м²; $\Delta\theta$ — превышение температур поверхности машины над температурой охлаждающей среды, °C.

Из приведенного уравнения следует, что определенная доля потерь, выделяющихся в машине с момента ее включения, расходуется на нагрев самой машины, а остальные потери рассеиваются с поверхности в охлаждающую среду (соответственно первое и второе слагаемые правой части уравнения). По мере нагрева машины температура ее поверхности повышается, все большая часть тепла передается в окружающую среду и нагрев машины замедляется. При длительной ($t = \infty$) работе с неизменной нагрузкой

наступает тепловое равновесие, при котором уже все выделенные внутри машины потери рассеиваются в охлаждающую среду, а нагрев машины прекращается [$d(\Delta\theta) = 0$]. Такой режим называют установившимся тепловым режимом. Он характеризуется установившейся температурой машины $\Delta\theta_{уст} = \text{const}$.

Общим решением уравнения теплового баланса является

$$\Delta\theta = \Delta\theta_0 + (\Delta\theta_\infty - \Delta\theta_0)(1 - e^{-t/T}),$$

где $\Delta\theta_0$ — начальное (при $t = 0$) превышение температуры поверхности машины над температурой охлаждающей среды, °C; $\Delta\theta_\infty$ — конечное (при $t = \infty$) превышение температуры поверхности машины над температурой охлаждающей среды, °C; T — постоянная времени нагрева, с:

$$T = C/(\alpha S).$$

В частном случае нагрев машины из практически холодного состояния (при $t = 0$ $\Delta\theta_0 = 0$, при $t = \infty$ $\Delta\theta_\infty = \Delta\theta_{уст}$)

$$\Delta\theta = \Delta\theta_{уст}(1 - e^{-t/T}).$$

Охлаждение отключенной от сети машины, достигшей установившейся температуры (при $t = 0$ $\Delta\theta_0 = \Delta\theta_{уст}$ при $t = \infty$ $\Delta\theta_\infty = 0$),

$$\Delta\theta = \Delta\theta_{уст} e^{-t/T}.$$

Эти выражения графически иллюстрируются кривыми нагрева и охлаждения машины, приведенными на рис. 3.1, а и б, на которых дана также графическая интерпретация постоянной времени нагрева T .

Точный расчет нагрева электрических машин требует решения трехмерного температурного поля, осложненного неравномерным распределением источников тепла в объеме машины, различными тепловыми характеристиками элементов машины, существенно зависящими от технологии изготовления машины и системы охлаждения [21].

Расчетные методы в большинстве случаев основаны на условном подразделении всего объема машины или его симметричной в тепловом отношении части на ряд зон, обладающих постоянными в пределах каждой зоны тепловыми характеристиками (коэффициентом теплопроводности материала, отсутствием или наличием источников тепла и т. п.). По границам каждой из зон определяются условия теплопередачи, устанавливаются возможные направления тепловых потоков и для каждого из выбранных направлений рассчитываются тепловые сопро-

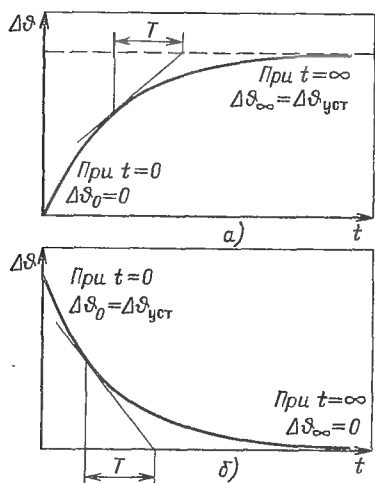


Рис. 3.1. Кривые нагрева и охлаждения:

а — процесс нагрева (при $t = 0$ $\Delta\theta_0 = 0$, при $t = \infty$ $\Delta\theta_\infty = \Delta\theta_{уст}$); б — процесс охлаждения (при $t = 0$ $\Delta\theta_0 = \Delta\theta_{уст}$, при $t = \infty$ $\Delta\theta_\infty = 0$)

тивления в пределах зоны и на ее границах. При расчете тепловых сопротивлений учитывают теплопроводность материала в направлении теплового потока, размеры зоны, условия теплопередачи с поверхности, характер и скорость движения соприкасающегося с зоной охлаждающего газа или жидкости, их теплоемкость, состояние охлаждающей поверхности и другие факторы, оказывающие влияние на процессы теплопередачи. Расчеты могут быть проведены либо для всей машины, либо для отдельно взятой ее детали без связи с нагревом остальных частей. Например, определен нагрев коллектора от электрических потерь в скользящем контакте и потерь на трение щеток о коллектор, рассчитаны перепад температуры по толщине изоляции пазовой части обмотки или превышение температуры проводников лобовой части обмотки над температурой охлаждающего воздуха внутри машины и т. п.

При расчете динамики нагрева помимо всех перечисленных выше факторов должна быть также учтена теплоемкость материала каждой из зон, на которые подразделен объем машины [18].

3.3. Режимы работы электрических машин

Нагрев конкретной электрической машины зависит от режима ее работы, т. е. от соотношения длительности периодов работы и пауз между ними или периодов работы с полной и частичной нагрузкой, от частоты включения машины и характера протекания переходных процессов. Для различных режимов работы электрических машин ГОСТ устанавливает следующие термины.

Практически неизменная нагрузка машины — нагрузка, при которой отклонение тока и напряжения якоря и мощности машины от заданного режима не превышает $\pm 3\%$, а тока возбуждения и частоты — не более $\pm 1\%$.

Практически неизменная температура охлаждающей среды — температура охлаждающей газообразной среды, изменяющаяся в течение одного часа не более чем на 1°C , или температура охлаждающей жидкой среды (при непосредственном охлаждении), изменяющаяся в течение 1 ч не более чем на $0,5^\circ\text{C}$.

Практически установившаяся температура частей электрической машины — температура, изменение которой в течение 1 ч не превышает 1°C при условии, что нагрузка

машины и температура охлаждающей среды остаются практически неизменными.

Практически повторяющаяся температура какой-либо части электрической машины при повторно-кратковременных или перемежающихся режимах работ — температура в конце рабочего периода или в конце паузы, изменение которой от одного рабочего периода к другому не превышает 2°C в течение 1 ч работы машины при условии, что нагрузка машины во время рабочих периодов, продолжительность включения, продолжительность нагрузки и пауз, а также температура охлаждающей среды остаются практически неизменными.

По времени включения машины, соотношение продолжительности работы и пауз, а также по характеру изменения нагрузки режимы работы электрических машин подразделяют на продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный и перемежающийся.

Продолжительным режимом (условное обозначение S1) называют режим, при котором время работы машины при практически неизменной нагрузке и температуре охлаждающей среды достаточно для нагрева всех ее частей до практически установившейся температуры. Режим характеризуется неизменными потерями (рис. 3.2, а) в течение всего времени работы машины.

Кратковременным режимом работы (S2) называют режим, при котором периоды неизменной нагрузки чередуются с периодами отключения машины (рис. 3.2, б), причем за время работы температура частей машины не успевает достигнуть установившегося значения, а за время пауз (отключения машины) машина охлаждается до практически холодного состояния, т. е. до практически установившейся температуры, отличающейся от температуры охлаждающей среды не более чем на 1°C . Установленная ГОСТ длительность периодов работы в данном режиме — 10, 30, 60 и 90 мин. Она должна быть указана в условном обозначении режима работы, например S2–30 мин, S2–60 мин.

Повторно-кратковременный режим отличается от кратковременного регламентированным продолжительностью включения под неизменную нагрузку и продолжительностью периодов отключения (пауз), причем время работы машины всегда меньше времени, необходимого для нагрева ее частей до установившейся температуры, а время пауз меньше необходимого для остывания машины до практически холодного состояния. Продолжительность включений (ПВ) уста-

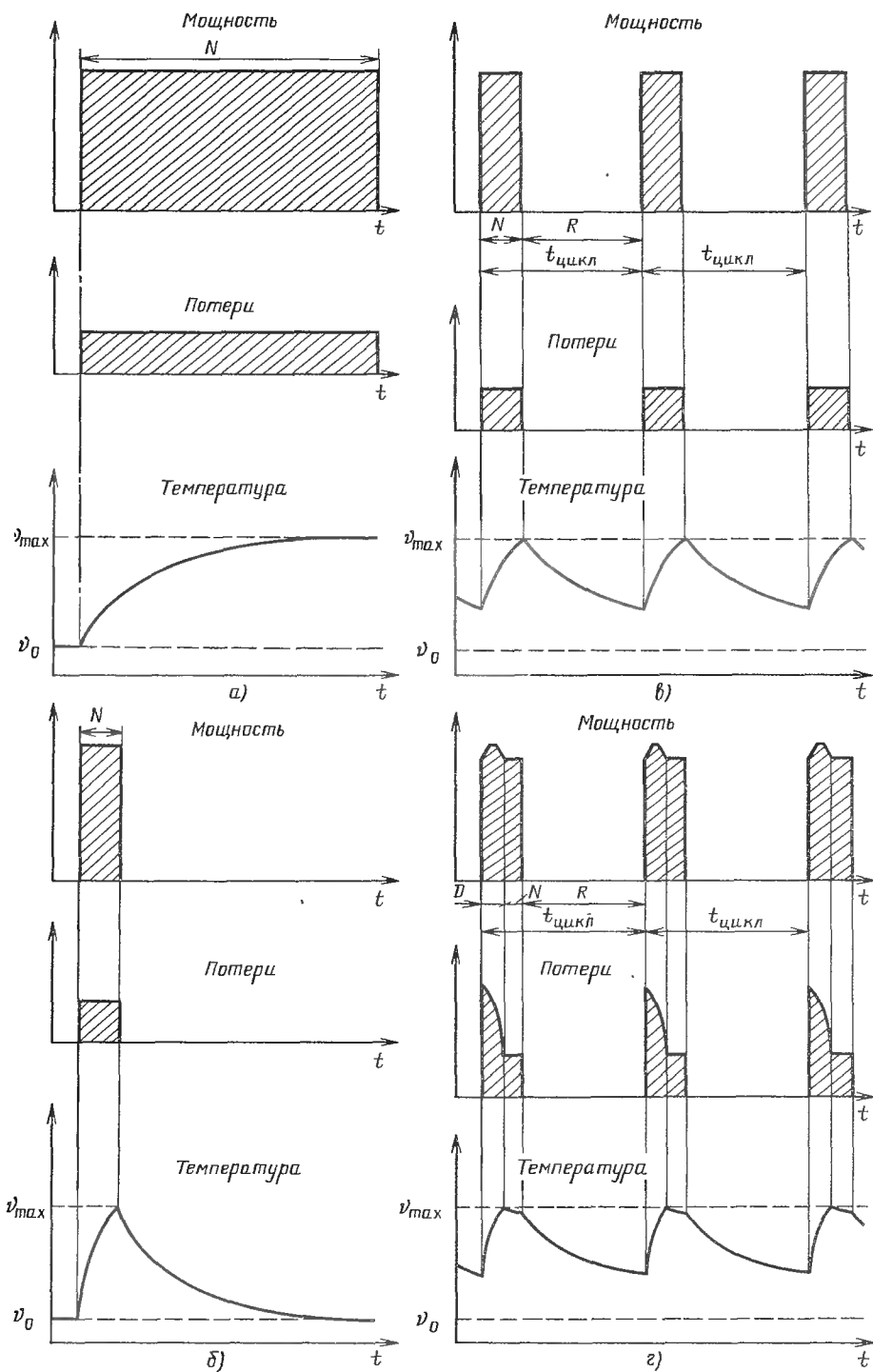
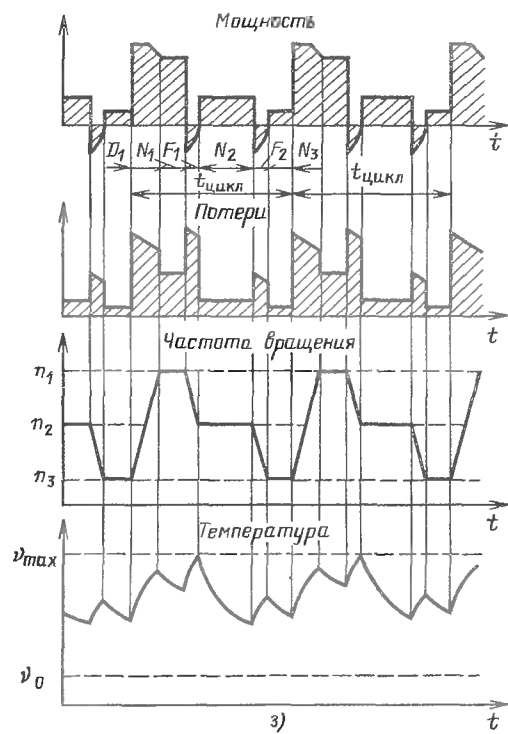
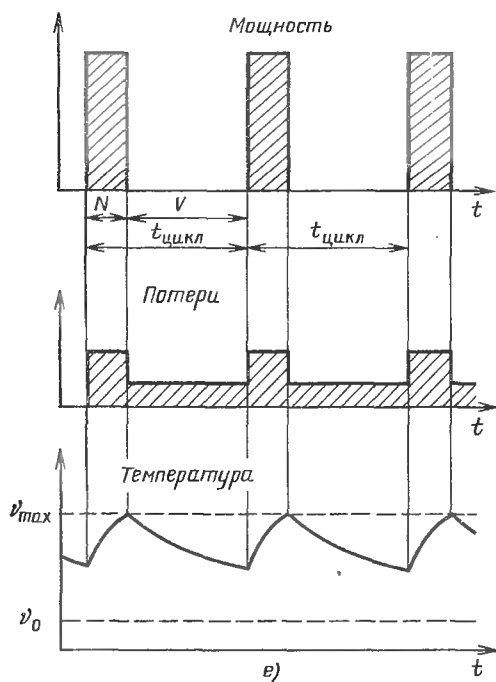
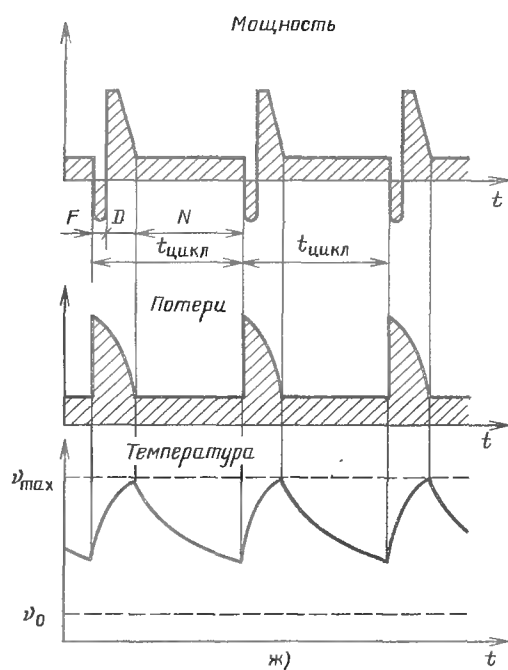
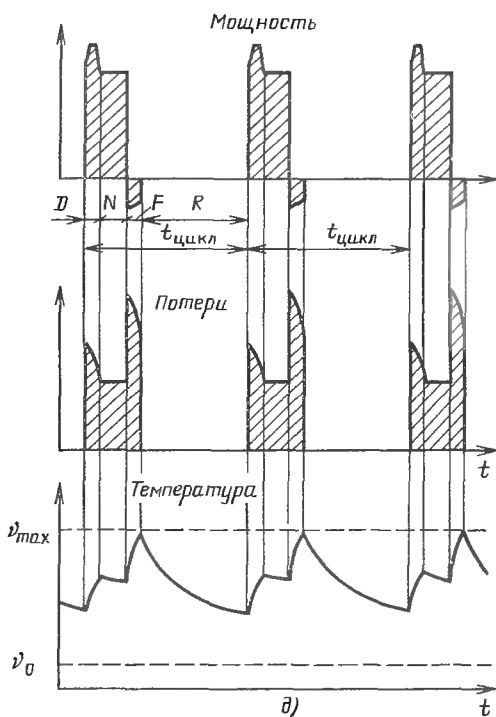


Рис. 3.2. Изменение нагрузки, потерь и температуры

а — S1; б — S2; в — S3; г — S4;



электрических машин при различных режимах работы

д — S5; е — S6; ж — S7; з — S8

навливаются в процентах продолжительности одного цикла работы, включающего в себя время работы и время паузы. Продолжительность включения для всех повторно-кратковременных режимов принята равной 15, 25, 40 и 60 % продолжительности одного цикла.

В повторно-кратковременном режиме S3 продолжительность цикла установлена равной 10 мин.

Работа машины и паузы периодически чередуются. Продолжительность включения, %, определяется по формуле

$$ПВ = \frac{N}{N + R} 100,$$

где N , R — время (продолжительность) работы и паузы, с.

Характер изменения потерь и нагрева машины во времени при режиме работы S3 иллюстрирует рис. 3.2, в.

В условном обозначении режима указывают продолжительность включения в процентах; например S3—25 %, S3—40 %. Для режима S3 предполагается отсутствие влияния на нагрев машины увеличения потерь за время пуска, так как продолжительность пускового периода много меньше периода работы машины.

Повторно-кратковременный режим S4 определяет эксплуатацию машины с частыми пусками, при которых длительность одного цикла определяется числом включений в час: 30, 60, 120 или 240 при определенном коэффициенте инерции FI , равном 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0; 6,3 или 10. Коэффициент инерции — это отношение суммы момента инерции ротора и приведенного к валу двигателя момента инерции приводного механизма к моменту инерции ротора.

В условном обозначении режима указывается продолжительность включения в процентах, число включений в час и коэффициент инерции, например S4—25 %, 120 включений в час, $FI = 2,0$. Это означает, что двигатель при коэффициенте инерции $FI = 2,0$ рассчитан на работу при 120 включениях в час, длительность каждого цикла составляет $60/120 = 0,5$ мин, из которых время пуска (D) и время работы (N) составляет 25 %, т. е. 7,5 с, а время паузы (R) — 22,5 с.

Из-за малой длительности каждого цикла время пуска (разгона) машины соизмеримо с временем ее работы, поэтому увеличение потерь в пусковом периоде оказывает непосредственное влияние на нагрев машины (рис. 3.2, г). Времена пуска, работы и паузы связаны следующим соотношением, %:

$$ПВ = \frac{D + N}{D + N + R} 100.$$

Повторно-кратковременный режим с частыми пусками и электрическим торможением (S5) отличается от рассмотренного тем, что в конце каждого цикла происходит электрическое торможение двигателя. Эксплуатация двигателей рассчитана при коэффициентах инерции FI , равных 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; и 4,0. Продолжительность включения, %, определяется из соотношения

$$ПВ = \frac{D + N + F}{D + N + F + R} 100,$$

где D — время пуска; N — время работы; F — время электрического торможения; R — пауза. Число включений в час принято таким же, как и в режиме S4 (рис. 3.2, д).

В условном обозначении режима указывают продолжительность включения, %, число включений в час и коэффициент инерции, например S5—40 %, 60 включений в час, $FI = 1,2$.

В перемежающемся режиме периоды работы при определенных нагрузке и частоте вращения чередуются с периодами холостого хода двигателя, или реверсами при электрическом торможении, или с работой при другой частоте вращения. Продолжительность работы с неизменной нагрузкой (ПН) определяется в процентах длительности одного цикла — 15, 25, 40 или 60 %.

В перемежающемся режиме (S6) длительность одного цикла принята 10 мин. Влияние пусковых потерь на нагрев частей двигателя не учитывается (рис. 3.2, е). Нагрузка двигателя перемежается с холостым ходом двигателя. Продолжительность нагрузки, %, определяется по формуле

$$ПН = \frac{N}{N + V} 100,$$

где N — время работы с неизменной нагрузкой; V — время холостого хода.

В условном обозначении режима указывается ПН в процентах, например S6—40 %.

В перемежающемся режиме с частыми реверсами при электрическом торможении (S7) длительность цикла работы определяется числом включений в час — 30, 60, 120 или 240 при определенном коэффициенте инерции $FI = 1,2$; 1,6; 2,0; 2,5 или 4,0. Из-за малой длительности неизменной нагрузки потери в пусковые периоды и во время реверсов оказывают существенное влияние на нагрев частей двигателя (рис. 3.2, ж). В условном обозначении указываются число включений в час и коэффициент инерции, на-

пример S7 — 120 включений в час, $FI = 2,5$.

В перемежающемся режиме с двумя и более частотами вращения (S8) определена последовательная смена периодов работы с неизменной нагрузкой на одной частоте вращения, периодами работы на другой частоте вращения с иной, но также неизменной нагрузкой, соответствующей этой частоте. Режим определяется числом циклов в час — 30, 60, 120 или 240, коэффициентом инерции $FI = 1,2; 1,6; 2,0; 2,5$ и 4,0 и относительной (в процентах к длительности цикла) продолжительностью нагрузки на каждой из частот вращения ($ПН_1, ПН_2, \dots$), которая рассчитывается по формулам

$$ПН_1 = \frac{D_1 + N_1}{D_1 + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3} 100;$$

$$ПН_2 = \frac{F_1 + N_2}{D_1 + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3} 100;$$

$$ПН_3 = \frac{F_2 + N_3}{D_1 + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3} 100,$$

где D_1 — время разгона; N_1, N_2, N_3 — время работы; F_1, F_2, F_3 — время электрического торможения на каждой из частот вращения.

Изменение потерь двигателя при переходе на другую частоту вращения с другой нагрузкой и при электрическом торможении оказывает существенное влияние на нагрев частей машины (рис. 3.2, з).

В условном обозначении режима указываются число включений в час, коэффициент инерции, нагрузка, соответствующая каждой из частот вращения, и ее относительная продолжительность в процентах общей длительности цикла, которая устанавливается по соглашению между заказчиком и изготовителем. Примеры обозначений: S8 — 60 включений в час. $FI = 2,0$; 22 кВт; 740 об/мин; 40%; 55 кВт; 1470 об/мин; 60%.

При эксплуатации машин в повторно-кратковременных или перемежающихся режимах с указанными в паспорте продолжительностями включения и нагрузки, коэффициентом инерции FI и числом пусков в час практически повторяющаяся температура их частей не превышает допустимую, установленную для данного типа машины и класса нагревостойкости ее изоляции.

Возможность эксплуатации машины в измененном по сравнению с паспортным режиме, например с иными ПВ или ПН, числом пусков в час или с другим F_1 , при одновременном изменении рабочей нагрузки рассматривается в § 6.3.

Кроме основных режимов работы элект-

рических машин (S1—S8), регламентированных ГОСТ 183-74, в практике эксплуатации электрических двигателей можно выделить режим кратковременной нагрузки с продолжительностью включения, существенно меньшей 10 мин, режим чередующихся реверсов, характерный, в частности, для рольганговых двигателей, и режим стохастической нагрузки, характерный для горно-шахтного и бурильного оборудования.

Режим кратковременной нагрузки с малой продолжительностью рабочего цикла является частным случаем режимов S2, S3 и отличается от них тем, что время работы в этом режиме соизмеримо с временем пуска двигателя. В связи с этим потери в двигателе необходимо рассматривать как функции времени, а не как постоянные величины.

Режим чередующихся реверсов относится к режиму S7, но отличается от него симметричным графиком мощности при разном направлении вращения. Кроме того, рабочий цикл по времени соизмерим с временем реверса, и поэтому при расчете потерь необходимо учитывать аперiodические составляющие тока и магнитного потока.

Режим стохастической (случайной) нагрузки характеризуется вероятностными характеристиками момента нагрузки (сопротивления) на валу:

математическим ожиданием (МО), характеризующим среднее значение нагрузочного момента;

дисперсией или среднеквадратичным отклонением (СКО), оценивающим разброс значений M_H относительно МО;

корреляционной функцией, устанавливающей связь между сечениями случайного процесса $M_H(t)$;

плотностью распределения вероятности M_H .

Эти характеристики определяются согласно ГОСТ 11.004-84 и ГОСТ 11.006-74.

В отличие от предыдущих режимов график случайной нагрузки не может быть выражен детерминированной функцией времени. Поэтому и тепловое состояние двигателя оценивается вероятностными характеристиками случайной функции нагрева во времени.

Все виды стохастических нагрузок в основном представляются как стационарные случайные процессы, т. е. такие процессы, которые имеют постоянное значение МО, СКО и корреляционную функцию, зависящую лишь от временного интервала между сечениями случайного процесса.

Для этого режима характерно то, что все переменные двигателя — ток, потери,

КПД, $\cos \phi$ и др. — характеризуются не только своими средними значениями, но и диапазоном изменения случайной составляющей этих величин относительно своего среднего значения. В частном случае при нулевом отклонении случайной составляющей момента нагрузки от его среднего значения режим стохастической нагрузки сводится к одному из режимов S1–S8.

3.4. Охлаждение электрических машин

Превышение температуры поверхности охлаждения электрической машины над температурой охлаждающей среды определяется выражением

$$\Delta \theta = \sum P / (\alpha S_{\text{охл}}),$$

где $S_{\text{охл}}$ — поверхность охлаждения машины; $\sum P$ — сумма потерь, отводимых с поверхности охлаждения; α — коэффициент теплоотдачи с поверхности.

Уменьшение нагрева машины может быть достигнуто снижением использования активного объема машины (уменьшением $\sum P$), увеличением эффективности теплоотдачи (увеличением коэффициента α) и увеличением поверхности охлаждения. Снижение использования активного объема экономически невыгодно, так как приводит к неоправданному увеличению габаритов и массы машины, поэтому задача улучшения охлаждения электрических машин, как правило, решается путем увеличения коэффициента теплоотдачи и площади поверхности охлаждения.

В современном электромашиностроении коэффициент теплоотдачи повышают путем организации интенсивного обдува охлаждаемых поверхностей воздухом и применением для охлаждения водорода, воды или масла. Поверхность охлаждения увеличивают оребрением корпусов машин и созданием систем вентиляционных каналов для пропуска охлаждающего агента (воздуха, водорода или жидкости) внутрь машины непосредственно к элементам ее объема, в которых происходит наиболее интенсивное выделение тепла, — к активной стали и обмоткам. В последнем случае достигается также уменьшение нагрева внутренних зон машины из-за уменьшения теплового потока от места выделения тепла к внешней поверхности машины.

Классификация систем вентиляции в зависимости от расположения вентиляторов

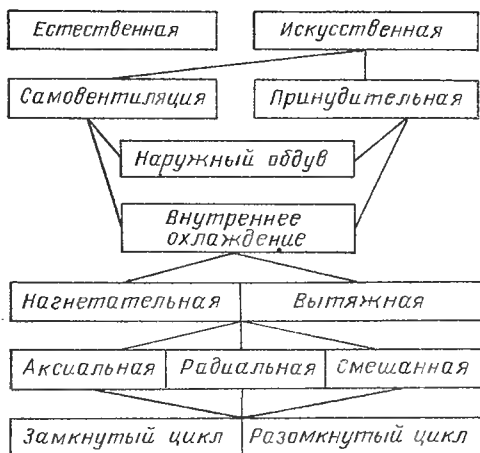


Рис. 3.3. Классификация систем вентиляции электрических машин

и преимущественного направления вентиляционных каналов внутри машины применительно к воздушному охлаждению приведена на рис. 3.3.

В электрических машинах с естественным охлаждением отсутствуют как вентилятор, так и какие-либо иные конструктивные элементы, создающие направленное движение воздуха для отвода тепла от частей машины. Охлаждение осуществляется за счет свободной конвекции воздуха, вызванной разницей температур нагретой поверхности машины и охлаждающей среды.

Большинство электрических машин имеет искусственное охлаждение, при котором обязательным является наличие каких-либо конструктивных элементов или отдельных устройств (вентиляторов, компрессоров, вентиляционных лопаток или ковшей и т. п.), создающих аэродинамический или гидравлический напор, необходимый для обеспечения направленного движения охлаждающего газа или жидкости по вентиляционным каналам или обдува внешней поверхности машины.

Системы вентиляции в зависимости от привода устройства, создающего напор для движения охлаждающего агента, подразделяют на самовентиляцию и принудительную или независимую вентиляцию. Наиболее распространена самовентиляция электрических машин, т. е. система вентиляции, при которой вентилятор или другое устройство, обеспечивающее движение охлаждающего агента, непосредственно связаны с ротором или валом машины (установлены на роторе, насажены на вал машины или связаны с валом

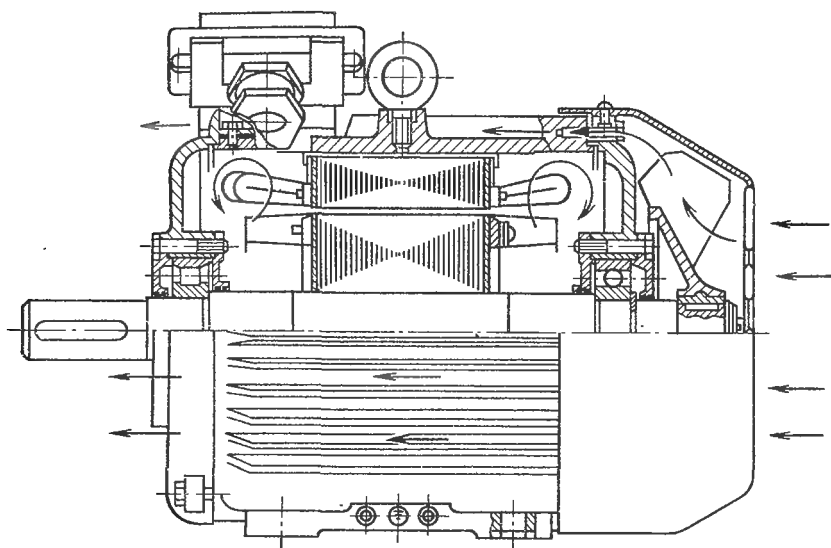


Рис. 3.4. Схема движения охлаждающего воздуха при внешнем обдуве асинхронного двигателя серии 4А, $h = 160$ мм, исполнение IP44, способ охлаждения IC041

клиноременной или какой-либо иной передачей). Такая система вентиляции достаточно проста по конструкции, но имеет существенный недостаток: движение хладагента происходит только при вращении вала машины, а скорость его движения меняется с изменением частоты вращения вала. В двигателях с широким регулированием частоты вращения самовентиляция часто оказывается недостаточно эффективной. В таких машинах применяют принудительную систему вентиляции, при которой вентилятор приводится во вращение посторонним вспомогательным двигателем с постоянной и не зависящей от режима работы охлаждаемой машины частотой вращения.

В зависимости от исполнения машины по степени защиты от влияния окружающей среды поток охлаждающего воздуха может быть направлен либо только на внешнюю поверхность машины (внешний обдув), либо в вентиляционные каналы внутрь машины (внутреннее охлаждение) к обмоткам, стали магнитопровода и другим нагревающимся ее частям.

Внешний обдув несмотря на меньшую эффективность охлаждения широко применяется для машин, работающих в загрязненной атмосфере, например в запыленных помещениях. Так, все асинхронные двигатели серии 4А до высоты вращения 160 мм выполняются с внешним обдувом статора

(рис. 3.4). Для усиления теплоотдачи внешнюю поверхность их корпусов делают ребренной. При внешнем обдуве улучшение теплоотдачи от частей машины, непосредственно не соприкасающихся с внутренней поверхностью корпуса, достигается организацией направленного движения воздуха, находящегося внутри корпуса машины, при помощи внутреннего вентилятора или вентиляционных лопаток на роторе. Этим обеспечивается перенос тепла, например, от ротора и лобовых частей обмотки статора к внутренней поверхности корпуса.

Внутренняя вентиляция может быть нагнетательной или вытяжной. При нагнетательной вентиляции воздух проходит по вентиляционному тракту за счет напора, создаваемого на входе в тракт. При вытяжной вентиляции движение воздуха осуществляется за счет разрежения, создаваемого на выходе из вентиляционного тракта.

По преимущественному направлению вентиляционных каналов и направлению движения охлаждающего воздуха относительно оси машины различают аксиальную (рис. 3.5), радиальную (рис. 3.6) и смешанную (аксиально-радиальную) системы вентиляции. Применение той или иной системы определяется размерами машины, специфическими особенностями конструкции машин различных типов и условиями распределения потерь по их объему.

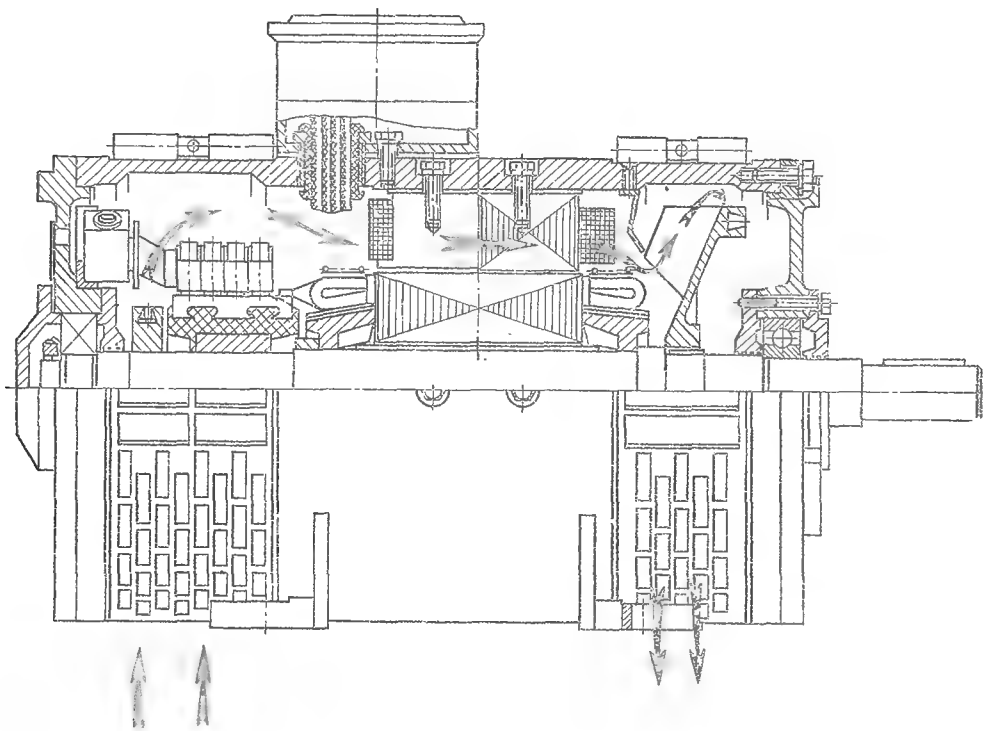


Рис. 3.5. Схема движения охлаждающего воздуха при вытяжной аксиальной вентиляции двигателя постоянного тока серии 2П, $h = 180$ мм, исполнение IP22, способ охлаждения IC01

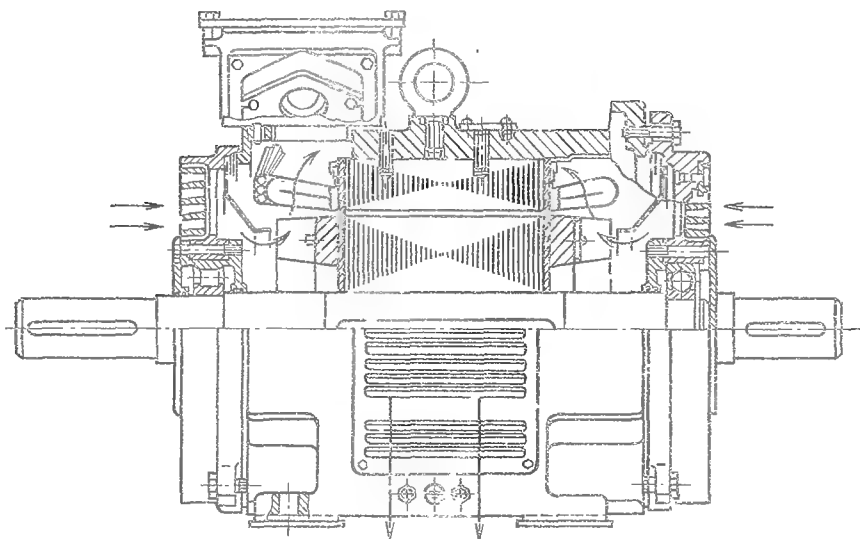


Рис. 3.6. Схема движения охлаждающего воздуха при радиальной вентиляции асинхронного двигателя серии 4А, $h = 180$ мм, исполнение IP23, способ охлаждения IC01

Внутренняя вентиляция электрических машин может осуществляться при разомкнутых или замкнутых циклах циркуляции охлаждающего воздуха. При разомкнутом цикле воздух из окружающей машину среды проходит по вентиляционному тракту, нагревается в процессе охлаждения машины и выбрасывается вновь в окружающую среду. Это наиболее распространенная система. Основным ее достоинством является отсутствие каких-либо дополнительных устройств помимо системы вентиляционных каналов и вентилятора. К недостаткам разомкнутого цикла следует отнести зависимость температуры охлаждающего воздуха от температуры окружающей среды, возможность загрязнения вентиляционных каналов внутри машины пылью или повреждения изоляции обмоток агрессивными газами или парами, находящимися в окружающем машину воздухе. При замкнутом цикле вентиляции (рис. 3.7) нагретый воздух или газ, находящийся внутри машины, не выбрасывается наружу, а пропускается через охлаждающие устройства и, охлажденный, снова поступает на вход охладительного тракта. Это позволяет изолировать его от окружающего ма-

шину воздуха и обеспечить охлаждение до нужной температуры независимо от температуры окружающей среды. Замкнутый цикл требует устройств охладителей и применения надежных уплотнений, препятствующих проникновению внешнего воздуха внутрь корпуса машины или утечке охлаждающего газа в атмосферу. Такие системы применяются лишь в машинах специальных назначений, например для интенсивного охлаждения машин, работающих во взрывоопасных помещениях, и, как правило, во всех крупных турбогенераторах, гидрогенераторах, синхронных компенсаторах и т. п.

Для охлаждения крупных турбогенераторов и некоторых синхронных компенсаторов применяют водородное охлаждение, при котором корпус машины заполняется водородом, имеющим приблизительно в 14 раз меньшую плотность, чем воздух. При этом существенно уменьшаются потери на трение вращающихся частей о газ, что особенно важно для быстроходных синхронных турбогенераторов, улучшаются условия работы изоляции (она находится в среде, лишенной кислорода) и увеличивается коэффициент теплоотдачи с охлаждаемых поверхностей.

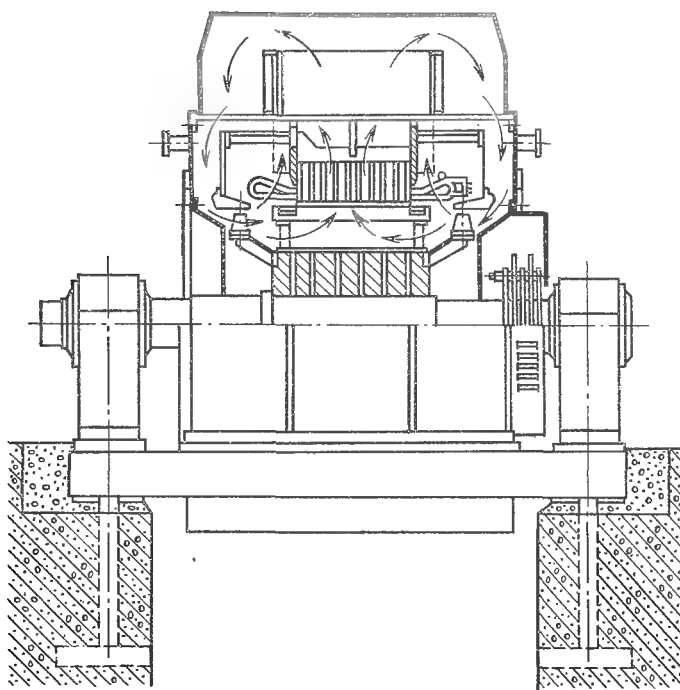


Рис. 3.7. Схема движения охлаждающего воздуха в синхронной машине СДНЗ-2 при замкнутом цикле вентиляции, способ охлаждения ИС37А81

Водородное охлаждение может быть осуществлено только по замкнутому циклу. Охлаждение нагретого водорода происходит в охладителях, вмонтированных в корпус машины.

Более интенсивное охлаждение достигается при так называемой непосредственной или форсированной системе, при которой охлаждающий газ не омывает внешнюю поверхность изолированных катушек обмотки, а пропускается непосредственно к меди ее проводников. При этом превышение температуры обмотки над температурой охлаждающего газа определяется только термическим сопротивлением на поверхности охлаждающих каналов в проводниках и не зависит от термического сопротивления изоляции обмоток. Форсированное водородное охлаждение имеют турбогенераторы серии ТВФ.

Использование для непосредственного охлаждения обмоток электрических машин воды или масла еще более повышает эффективность системы. Во многих современных турбогенераторах обмотка статора охлаждается водой, которую пропускают по полым проводникам, а ротор имеет непосредственное водородное охлаждение.

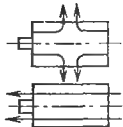
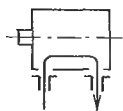
В последние годы начала развиваться система испарительного охлаждения электрических машин, в которой перенос тепла от внутренних областей машины к периферии осуществляется с помощью тепловых труб, заполненных теплоносителем — веществом, находящимся в жидком состоянии при температуре окружающей среды и имеющим низкую температуру парообразования. При нагреве части тепловой трубы, расположенной в активной зоне машины,

теплоноситель, находящийся внутри этой части, испаряется, охлаждая ее, и, расширяясь, вытесняет жидкость, находящуюся в холодном конце трубы. Жидкий теплоноситель перемещается к ее горячему участку, а на его место поступает нагретый газ. Газ охлаждается с помощью внешнего вентиляционного устройства, обдувающего холодный конец трубы, и конденсируется.

Приведенная на рис. 3.3 классификация рассматривает лишь основные системы охлаждения. В практике электромашиностроения они имеют те или иные разновидности, условные обозначения которых установлены ГОСТ 20459-75 (СТ СЭВ 1953-79). Согласно этому ГОСТ полное обозначение способов охлаждения электрических машин должно содержать буквы ИС и группу знаков из одной буквы и двух цифр. Буква обозначает вид хладагента, используемого для охлаждения: воздух — А, водород — Н, азот — N, двуокись углерода — С, фреон — F, вода — W, масло — V, керосин — К. Если в качестве хладагента используются другие, не поименованные выше жидкость или газ, то в обозначении приводится их полное наименование. Первой цифрой условно обозначается устройство цепи для циркуляции хладагента. Обозначение и характеристика некоторых наиболее часто встречающихся цепей приведены в табл. 3.3. Вторая цифра цифровой части условного обозначения — способ перемещения хладагента. Примеры обозначений и краткое наименование наиболее распространенных способов перемещения хладагента приведены в табл. 3.4.

Если машина имеет две и более цепи охлаждения, как, например, обдуваемые двигатели исполнения IP44 или машины с замк-

Таблица 3.3. Условное обозначение цепи для циркуляции хладагента (первая цифра в условном обозначении системы охлаждения)

Обозначение		Краткая характеристика цепи
Цифра	Схема	
0		Хладагент свободно подводится из окружающей среды к машине и свободно возвращается в эту среду (свободная циркуляция)
3		Хладагент подводится к машине или охладителю не из окружающей среды, а из другого источника через подводящую трубу или подводящий канал, а затем удаляется через отводящую трубу или отводящий канал на некотором расстоянии от машины (охлаждение при помощи подводящей и отводящей труб или каналов)

Продолжение табл. 3.3

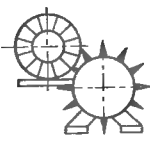
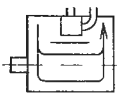
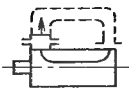
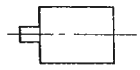
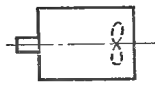
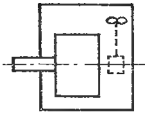
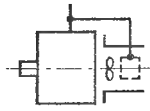
Обозначение		Краткая характеристика цепи
Цифра	Схема	
4		Первичный хладагент циркулирует по замкнутой системе и отдает свое тепло через поверхность корпуса вторичному хладагенту, которым является среда, окружающая корпус машины. Поверхность корпуса машины может быть гладкой или ребристой для лучшей теплоотдачи (охлаждение внешней поверхности машины)
7		Первичный хладагент циркулирует по замкнутой системе и отдает свое тепло вторичному хладагенту в охладителе, встроенном в машину и являющемся ее неотъемлемой частью; вторичным хладагентом не является среда, окружающая машину (охлаждение при помощи встроенного охладителя, без использования окружающей среды)
8		Первичный хладагент циркулирует по замкнутой системе и отдает свое тепло вторичному хладагенту в охладителе, являющемся независимым устройством, установленным непосредственно на машине; вторичным хладагентом не является среда, окружающая машину (охлаждение при помощи пристроенного охладителя без использования окружающей среды)

Таблица 3.4. Условное обозначение способа перемещения хладагента (вторая цифра в условном обозначении системы охлаждения)

Обозначение		Способ перемещения хладагента
Цифра	Схема	
0		За счет разницы температур — <i>свободная конвекция</i> ; вентилирующее действие ротора машины незначительно
1		Вентилирующим действием ротора или при помощи специального устройства, расположенного на валу ротора машины, — <i>самовентилиция</i>
2		При помощи <i>зависимого встроенного устройства</i> , не смонтированного непосредственно на валу машины, например внутреннего вентилятора с зубчатой передачей или ременным приводом
3		При помощи <i>зависимого пристроенного устройства</i> , установленного непосредственно на машине, например вентилятора, приводимого в движение электрическим двигателем, получающим питание от выводов охлаждаемой машины

Продолжение табл. 3.4

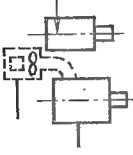
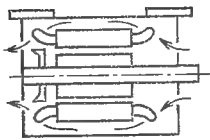
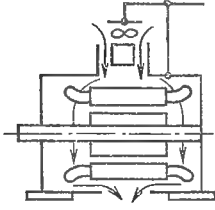
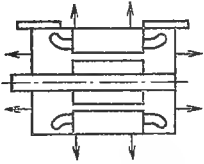
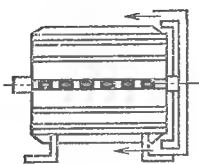
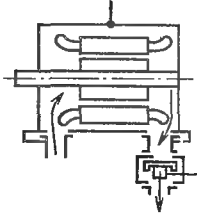
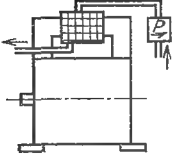
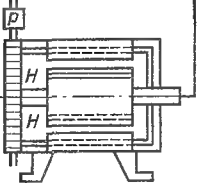
Обозначение		Способ перемещения хладагента
Цифра	Схема	
7		При помощи <i>отдельного устройства, не установленного на машине</i> и не зависящего от нее, или под давлением в системе циркуляции хладагента, например путем подачи воды из водопроводной сети или газа под давлением при помощи форсунки
8		Посредством <i>относительного движения машины</i> через хладагент, например тяговый двигатель, охлаждаемый окружающим воздухом, или двигатель, приводящий в движение вентилятор и охлаждаемый основным воздушным потоком

Таблица 3.5. Примеры условных обозначений систем охлаждения электрических машин

Система охлаждения	Схема	Обозначение
Защищенная машина с самовентиляцией; вентилятор расположен на валу машины		IC01
Защищенная машина, охлаждаемая пристроенным вентилятором; приводной электродвигатель вентилятора получает питание от выводов охлаждаемой машины		IC03
Закрытая машина с естественным охлаждением без внешнего вентилятора		IC0040
Закрытая машина с ребристой или гладкой станиной, обдуваемая внешним вентилятором, расположенным на валу машины		IC0141

Продолжение табл. 3.5

Система охлаждения	Схема	Обозначение
Закрытая машина с подводящей и отводящей трубами; машина охлаждается вентилятором с приводным электродвигателем, не установленным на машине		IC37
Закрытая машина с воздушным охлаждением и пристроенным водяным охладителем; циркуляция воды в охладителе осуществляется отдельным насосом или от водопроводной сети		IC37A81
Закрытая машина, имеющая обмотку статора с непосредственным водяным охлаждением; обмотка ротора охлаждается водородом; циркуляция воды в обмотке статора осуществляется отдельным насосом или от водопроводной сети; к машине пристроен воздушный охладитель		IC87 обмотка статора (W 87) ротор H71

нутой системой охлаждения при наличии охладителей, то в обозначении следует указывать характеристики каждой из цепей, начиная с цепи со вторичным хладагентом, т. е. имеющим более низкую температуру. Характеристику цепи, относящуюся к непосредственному охлаждению обмоток, следует ставить в обозначении способа охлаждения в скобки. Примеры полных обозначений способов охлаждения приведены в табл. 3.5. ГОСТ допускает в условных обозначениях

способов охлаждения наиболее распространенных электрических машин применение упрощенной системы. Так, если во всех цепях охлаждения машины используется только воздух, то буква А в обозначении может быть опущена. Если способом перемещения хладагента является самовентилиация, то в обозначении допускается сохранить только первую цифру, характеризующую устройство цепи охлаждения, например обозначать ICO вместо ICO1, как при полном обозначении.

РАЗДЕЛ 4

ОБМОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

4.1. Типы обмоток электрических машин

В электрических машинах наиболее распространены цилиндрические разноименно-полюсные (барабанные) обмотки с фазной зоной, равной электрическому углу π/m . Проводники обмотки этого типа располагаются вдоль зазора и соединяются между собой в витки, не охватывая магнитопровода статора или ротора, как это имеет место в спиральных или граммовских обмотках.

Цилиндрическая разноименнополюсная обмотка может быть сосредоточенной или распределенной. В сосредоточенной обмотке витки, образующие один полюс, объединены в одну катушку, как правило, многовитковую, расположенную на явно выраженных полюсах (обмотки возбуждения машин постоянного тока или синхронных машин с явнополюсным ротором). Распределенные обмотки состоят из катушек с относительно небольшим числом витков каждая, размещенных равномерно по длине окружности воздушного зазора в пазах магнитопровода статора или ротора.

Сосредоточенные обмотки машин переменного и постоянного тока одинаковы по схемам соединений и различаются лишь конструктивными особенностями. Распределенные обмотки машин переменного тока отличаются от распределенных обмоток машин постоянного тока (обмоток якорей) как по схемам соединений, так и по конструкции самих обмоток [2, 9, 18].

4.2. Конструктивное исполнение обмоток машин переменного тока

Распределенные обмотки машин переменного тока подразделяются на петлевые и волновые — по направлению отгиба лобовых частей и последовательности соединения и на однослойные и двухслойные — по числу сторон катушек, расположенных в одном пазу.

Обмотка статоров m -фазных электрических машин состоит из m частей, называемых фазами обмотки. В симметричных обмотках, например трехфазных, все фазы обмотки одинаковы, т. е. состоят из одного и того же числа витков и катушек, симметрично расположенных в пазах магнитопро-

вода и одинаково соединенных между собой катушечных групп. Фазы обмоток однофазных и двухфазных машин могут быть одинаковыми или различаться по числу витков, катушек и по площади поперечного сечения обмоточного провода.

По конструктивному исполнению различают обмотки из круглого и прямоугольного проводов. Обмотки называют катушечными, если витки каждой катушки образуются непрерывным проводом, или стержневыми, если обмотка состоит из отдельных стержней, а витки образуются лишь после укладки в пазы соединением стержней в их лобовых частях.

Катушечные обмотки в машинах переменного тока выполняются только петлевыми. Стержневые обмотки в зависимости от направления отгиба лобовых частей могут быть петлевыми или волновыми. То или иное конструктивное исполнение обмоток определяется типом и мощностью машины, номинальным напряжением и требованиями к их изоляции.

Обмотки из круглого провода (всыпные) укладывают в полузакрытые пазы статора (рис. 4.1) или ротора. Конструкция изоляции обмоток из круглого провода (пазовый короб, устанавливаемый в пазы до укладки обмотки) не рассчитана на высокие напряжения, поэтому такую обмотку применяют лишь в машинах с номинальным напряжением, не превышающим 660 В. Малая жесткость лобовых частей обмотки не может противостоять динамическим нагрузкам, возникающим во время пуска при больших токах в проводниках, поэтому обмотку из круглого провода не применяют в машинах мощностью более 100 кВт.

Для насыпных обмоток применяют провода диаметром не более 1,8 мм. При необходимости увеличить сечение эффективных проводников обмотку наматывают одновременно из нескольких параллельных проводов, называемых элементарными. В этом случае площадь поперечного сечения эффективного проводника

$$q_{\text{эф}} = n_z q_z,$$

где n_z — число элементарных проводников в одном эффективном; q_z — площадь поперечного сечения элементарного проводника.

Плотность укладки проводников в пазы определяется технологическим коэффициентом

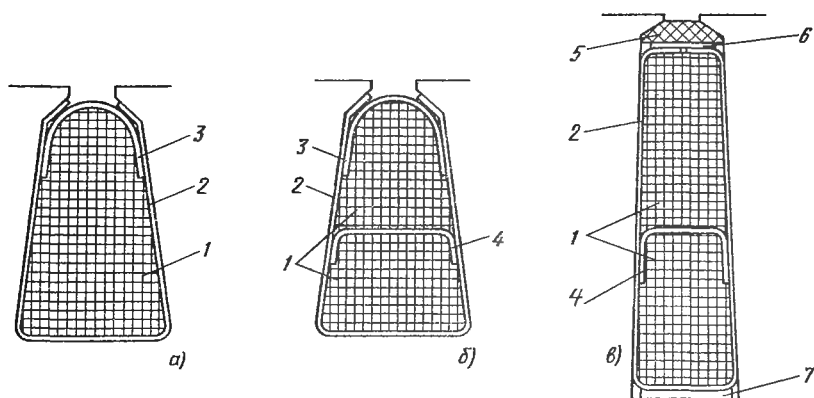


Рис. 4.1. Примеры заполнения пазов статора проводниками обмотки из круглого провода и изоляцией:

a — однослойная обмотка; *б* — двухслойная обмотка машины с $h \leq 250$ мм; *в* — двухслойная обмотка машины с $h \geq 280$ мм; 1 — проводники обмотки; 2 — корпусная изоляция (пазовый короб); 3 — пазовая крышка; 4 — прокладка между слоями; 5 — пазовый клин; 6 — прокладка под клин; 7 — прокладка на дно паза

том заполнения паза:

$$k_3 = d_{3,из}^2 n_3 \mu_{п'} / S_{п'}$$

где $d_{3,из}$ — диаметр изолированного элементарного проводника; $\mu_{п'}$ — число эффективных проводников в пазу; $S_{п'}$ — площадь поперечного сечения паза, свободная от изоляции.

Обычные значения коэффициента заполнения $k_3 = 0,68 \div 0,75$.

Коэффициент k_3 , характеризующий плотность расположения проводников в пазу, не позволяет судить об эффективности использования всего объема паза для размещения в нем меди проводников. Этот фактор учитывает коэффициент заполнения паза медью:

$$k_{3,м} = q_3 n_3 \mu_{п'} / S_{п'}$$

где $S_{п'}$ — полная площадь поперечного сечения паза.

При современных материалах и марках обмоточных проводов для обмоток из круглого провода удается достигнуть $k_{3,м} = 0,3 \div 0,4$ (большие значения — в однослойных обмотках с более тонкой корпусной изоляцией в пазу).

Обмотки из прямоугольного обмоточного провода применяют во всех машинах с номинальным напряжением 3000 В и выше, в машинах мощностью более 100 кВт и в машинах некоторых специальных исполнений с повышенными требованиями к изоляции. Для обмоток используют провод с поперечным сечением не более 17–20 мм². При больших номинальных токах машин эф-

фективные проводники обмоток образуют из нескольких элементарных проводников указанного сечения.

Катушки из прямоугольного провода выполняются либо цельными, либо подразделенными (рис. 4.2). Подразделенными называют катушки, разделенные вдоль на две одинаковые самостоятельные в конструктивном отношении части. В пазы машины их укладывают поочередно, а после укладки каждую пару соединяют параллельно между собой. Принятая последовательность и конструкция катушек позволяют укладывать обмотку такого типа в полукрытые пазы (рис. 4.3, *a*), шлиц которых уже, чем ширина цельной катушки.

Низкая электрическая прочность корпусной изоляции обмотки из подразделенных катушек, имеющей такую же конструкцию,

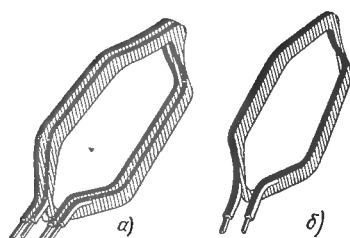


Рис. 4.2. Катушки из прямоугольного провода:

a — подразделенная; *б* — цельная

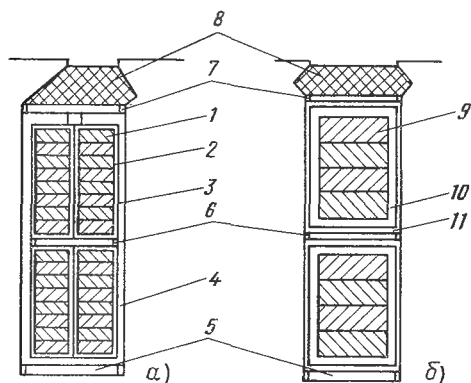


Рис. 4.3. Примеры заполнения пазов статора проводниками обмотки из прямоугольного провода и изоляцией:

а — полуоткрытые пазы статора с проводниками подразделенных катушек; б — открытые пазы статора машины с номинальным напряжением 6 кВ; 1 — проводники обмотки; 2 — обволакивающее покрытие (для скрепления проводников); 3 — скрепляющая лента; 4 — корпусная изоляция (пазовый короб); 5 — прокладка на дно пазы; 6 — прокладка под клин; 7 — пазовый клин; 8 — пазовый клин; 9 — проводники обмотки с дополнительной витковой изоляцией; 10 — гильзовая корпусная изоляция; 11 — внешняя защитная лента

как и во вспянных обмотках, не позволяет использовать обмотку этого типа в машинах с номинальным напряжением выше 660 В.

Цельные катушки из прямоугольного провода, как правило, изолируют до укладки, поэтому их можно укладывать, только в открытые пазы (рис. 4.3, б). Корпусная изоляция катушек может быть непрерывной по всей длине, выполненной из ленточного изоляционного материала, либо гильзовой в пазовой и непрерывной в лобовых частях. И та и другая конструкция находит широкое распространение в современных электрических машинах.

При напряжении более 6 кВ на внешнюю поверхность катушек обмотки наносят полупроводящее покрытие, служащее для предотвращения явления коронирования, возникающего на поверхности катушек в местах концентрации напряженности электрического поля, например в местах выхода прямолинейной части катушек из пазов.

Стержневая обмотка применяется в статорах крупных электрических машин, например в турбогенераторах и гидрогенераторах, а также в фазных роторах асинхронных двигателей мощностью более 50—60 кВт.

Стержни статорных обмоток для снижения потерь от вихревых токов выполняют из большого числа параллельных элементарных проводников с площадью поперечного сечения 17—20 мм², которые для уменьшения влияния эффекта вытеснения тока определенным образом переплетаются между собой — транспонируются (рис. 4.4). Конструкция корпусной изоляции стержней такая же, как и катушек из прямоугольного провода машин с высоким номинальным напряжением.

Стержни обмоток фазных роторов асинхронных двигателей выполняют из медных прямоугольных проводов с большой площадью поперечного сечения. В пазовой части стержни обмотки крепятся пазовыми клиньями, в лобовых частях — проволочными бандажами или бандажами из стеклотенты.

Короткозамкнутые обмотки применяют как основные в роторах асинхронных двигателей и как пусковые или демпферные в синхронных машинах.

Короткозамкнутые обмотки роторов асинхронных двигателей выполняют либо заливкой пазов алюминием или его сплавами, либо из стержней. Литые обмотки применяют в подавляющем большинстве роторов асинхронных двигателей мощностью до нескольких сотен киловатт. Одновременно с заливкой стержней отливают замыкающие кольца обмотки с вентиляционными лопатками. Изготовление обмотки ротора методом заливки позволяет выполнять стержни ротора практически любой нужной конфигу-

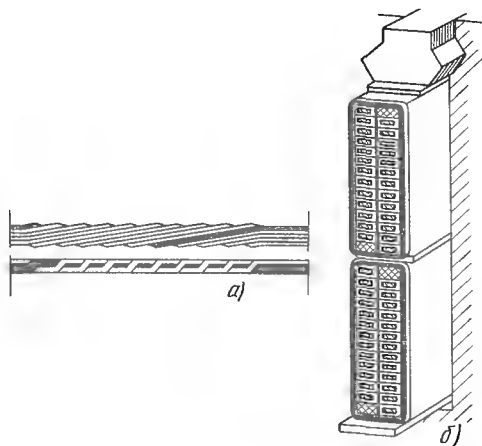


Рис. 4.4. Транспонированный стержень обмотки статора:

а — стержень без корпусной изоляции; б — положение стержней в пазу статора

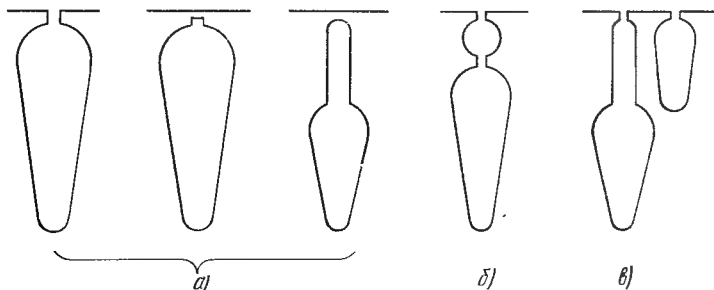


Рис. 4.5. Пазы короткозамкнутых роторов с литыми обмотками:

а — одноклеточных; *б* — двухклеточных; *в* — с неравномерной зубцовой зоной (с чередующимися пазами)

рации, включая двойные клетки со сложными профилями поперечного сечения каждого из стержней или с чередующимися пазами (рис. 4.5).

Для обмотки из вставных стержней в большинстве случаев используют медь, в двухклеточных роторах для рабочей обмотки — медь, а для пусковой — латуни, имеющие большее сопротивление и теплоемкость, чем медь, что особенно важно в двигателях, предназначенных для работы в тяжелых условиях пуска.

В некоторых сериях асинхронных двигателей, например АНЗ, короткозамкнутая обмотка роторов выполняется из алюминиевых стержней прямоугольного сечения, которые устанавливаются в открытые пазы ротора.

Демпферные и пусковые обмотки синхронных машин выполняют из медных или латунных стержней, размещенных в пазах на полюсных наконечниках. В демпферных обмотках генераторов стержни каждого полюса замыкаются между собой по торцам с помощью сегментов. Стержни пусковых обмоток синхронных двигателей имеют общие замыкающие кольца для всех стержней обмотки.

4.3. Обмоточный коэффициент

Обмоточным коэффициентом называют отношение геометрической суммы векторов ЭДС проводников, последовательно соединенных в фазу обмотки (ЭДС фазы), к алгебраической сумме ЭДС этих же проводников:

$$k_{об} = |\sum e_{ип}| / \sum e_{ип},$$

Обмоточный коэффициент для любой обмотки может быть найден по векторной диаграмме — звезде пазовых ЭДС [5, 10]. Для обмоток с фазной зоной π/m общим анали-

тическим выражением для расчета большинства симметричных обмоток, кроме обмоток специальных машин (обмоток с $q < 1$, с неравновитковыми катушками, с несплошной фазной зоной и ряда других), является

$$k_{об} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2m} v\right)}{N \sin\left(\frac{\pi}{2mN} v\right)} \sin\left(\frac{\pi}{2} \beta v\right),$$

где v — номер гармоники ЭДС (для основной гармоники $v = 1$); N определяется по числу пазов на полюс и фазу: если q — целое число, $N = q$, если q — дробное число, $N = dq$, здесь d — знаменатель дробного числа q ($q = b + c/d = N/d$, где b — целая и c/d — дробная части числа q , N/d — несократимая дробь); β — относительный шаг обмотки (укорочение или удлинение шага).

В расчетной практике $k_{об}$ удобнее представить в виде произведения коэффициента укорочения k_y на коэффициент распределения k_p :

$$k_{об} = k_y k_p.$$

Коэффициент укорочения шага обмотки

$$k_y = \sin\left(\frac{\pi}{2} \beta v\right)$$

учитывает уменьшение ЭДС витка по отношению к алгебраической сумме ЭДС двух проводников, являющихся его сторонами. В зависимости от укорочения (удлинения) шага

$$\beta = y_{расч} / \tau,$$

где $y_{расч}$ — расчетный шаг обмотки.

Расчетный шаг обмотки для различных типов обмоток принимают:

для двухслойных обмоток (за исключе-

нием двухслойных concentрических)

$$y_{расч} = y,$$

где y — действительный шаг обмотки по пазам;

для двухслойных concentрических обмоток

$$y_{расч} = \frac{1}{2}(y_6 + y_m) = y_6 - (q - 1),$$

где y_6 , y_m — шаги по пазам наибольшей и наименьшей катушек в катушечной группе; для одно-двухслойных обмоток

$$y_{расч} = q(m - 1) + 2N_6,$$

где N_6 — число больших катушек (катушек с двойным числом витков) в катушечной группе; в частном случае для наиболее употребительных трехфазных одно-двухслойных обмоток с одной большой катушкой в катушечной группе $y_{расч} = 2(q + 1)$;

для всех однослойных обмоток с одинаковым числом витков в катушках при сплошной фазной зоне

$$y_{расч} = \tau.$$

Следовательно, для обмоток такого типа всегда $k_y = 1$, несмотря на то что шаг каждой отдельно взятой катушки будет в зависимости от числа q большим, меньшим полюсного деления или равным ему.

Коэффициент распределения

$$k_p = \left[\sin\left(\frac{\pi}{2m}v\right) \right] / \left[N \sin\left(\frac{\pi}{2mN}v\right) \right]$$

учитывает уменьшение ЭДС обмотки, вызванное различием фаз ЭДС последовательно соединенных проводников, расположенных в разных пазах.

Коэффициент распределения для основной гармоники в частных случаях:

для трехфазных обмоток с фазной зоной π/m и целым числом пазов на полюс и фазу

$$k_p = \frac{0,5}{q \sin(30^\circ/q)};$$

для тех же обмоток при дробном числе q

$$k_p = \frac{0,5}{N \sin(30^\circ/N)},$$

где $N = dq$, d — знаменатель дробной части числа q ;

для однофазных обмоток и двухфазных с одинаковыми обмотками обеих фаз (кроме однослойных с несплошной фазной зоной) с целым числом q

$$k_p = \frac{0,707}{q \sin(45^\circ/q)};$$

для двухфазных обмоток с различными обмотками главной A и вспомогательной B фаз

$$k_{p(A/B)} = \frac{\sin(\pi p Q_{A(B)}/z)}{Q_{A(B)} \sin(\pi p/z)},$$

где $Q_{A(B)}$ — число пазов на полюс главной (вспомогательной) фазы обмотки.

Обмоточные коэффициенты рассчитывают для каждой из обмоток в отдельности и обозначают индексами, относящимися к данной обмотке ($k_{об1}$, $k_{об2}$...).

Для короткозамкнутых обмоток роторов асинхронных машин $k_{об2} = 1$ независимо от числа пазов ротора и числа полюсов машины.

Для специальных обмоток с неравномерным расположением катушек в пазах магнитопровода, например некоторых типов двухскоростных обмоток асинхронных двигателей (см. п. 4. 5. 6), или для обмоток с неравномерными катушками, построенными по типу синусной обмотки (см. § 4.6), обмоточный коэффициент целесообразно определять по звезде пазовых ЭДС, построенной для данной обмотки.

Высшие гармоники ЭДС отрицательно влияют на работу машины, поэтому почти все машины, кроме машин малой мощности, выполняют с распределенной обмоткой при $q > 2$, имеющей укорочение шага. На рис. 4.6 штриховкой показана область наиболее распространенных в практике укорочений β , при которых достигается существенное уменьшение ЭДС пятой и седьмой гармоник при относительно малом уменьшении ЭДС первой гармоники. Данные табл. 4.1 иллюстрируют

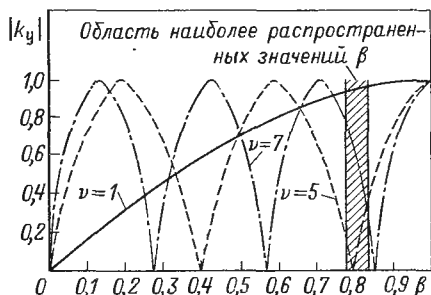


Рис. 4.6. Коэффициент укорочения для различных гармоник ЭДС в зависимости от укорочения шага

Таблица 4.1. Коэффициенты распределения k_p трехфазных обмоток с фазной зоной 60°

Номер гармоники	Число пазов на полюс и фазу					
	2	3	4	5	6	∞
1	0,966	0,960	0,958	0,957	0,957	0,955
5	0,259	0,217	0,205	0,200	0,197	0,191
7	-0,259	-0,177	-0,158	-0,149	-0,145	-0,136
11	-0,966	-0,177	-0,126	-0,110	-0,102	-0,087
13	-0,966	0,217	0,126	0,102	0,092	0,073
17	-0,259	0,960	0,158	0,102	0,084	0,056
19	0,259	0,960	-0,205	-0,110	-0,084	-0,050
23	0,966	0,217	-0,958	-0,149	-0,092	-0,041
25	0,966	-0,177	-0,958	0,200	0,102	0,038
29	0,259	-0,177	-0,205	0,957	0,145	0,033
31	-0,259	0,217	0,158	0,957	-0,197	-0,051
35	-0,966	0,960	0,126	0,200	-0,957	-0,027
37	-0,966	0,960	-0,126	-0,149	-0,957	0,026
41	-0,259	0,217	-0,158	-0,110	-0,197	0,022
43	0,259	-0,177	0,205	0,102	0,145	-0,042
47	0,966	-0,177	0,958	0,102	0,102	-0,020

изменение k_p различных гармоник ЭДС в зависимости от числа q обмоток трехфазных машин.

4.4. Обозначение выводов обмоток машин переменного тока

Обозначение выводов обмоток асинхронных и синхронных машин в зависимости от назначения обмотки, ее размещения в машине (на статоре или на роторе), числа концов, выведенных из машины для подсоединения к внешней цепи, и типа машины установлено ГОСТ 26772-85, который введен с 1.01.1987 г. взамен соответствующих пунктов (пп. 5.1—5.9) ГОСТ 183-74. ГОСТ 26772-85 предусматривает две системы обозначений: для ранее разработанных и модернизируемых машин и для вновь разрабатываемых электрических машин.

Для ранее разработанных и модернизируемых машин сохраняется система обозначений, установленная ГОСТ 183-74, в соответствии с которой выводы обмоток синхронных и асинхронных машин обозначаются буквами русского алфавита (обмоток статора — буквой С, ротора — буквой Р, обмоток возбуждения синхронных машин — буквой И) и цифрами. Обозначение выводов трехфазных асинхронных и синхронных машин приведено в табл. 4.2. Выводы обмоток статора однофазных синхронных машин обозначаются: $C1$ — начало фазы, $C2$ — конец фазы; обмотки возбуждения: $И1$ — начало, $И2$ — конец.

Выводы обмоток однофазных асинхронных двигателей обозначаются: начало главной обмотки — $C1$, конец — $C2$; начало вспомогательной обмотки — $B1$, конец — $B2$.

Концы обмоток, соединенные между собой внутри машины и не выведенные на клеммную доску коробки выводов или к контактному кольцам, не обозначаются. Например, в обмотке статора трехфазной машины, соединенной в звезду внутри машины, обозначаются только начала фаз $C1$, $C2$ и $C3$, а при наличии четырех выводов — вывод нулевой точки (точка звезды) O . В фазных роторах асинхронных двигателей обозначения наносят только на выводы обмотки, соединенные с контактными кольцами. Вывод первой фазы $P1$ должен быть присоединен к наиболее удаленному от обмотки ротора контактному кольцу; вывод $P2$ — к среднему, вывод $P3$ — к ближайшему к обмотке кольцу. Обозначение самих колец не обязательно.

На чертежах схем обмоток обычно обозначают все начала и все концы фаз, причем концы фаз обмотки ротора обозначают аналогично концам фаз обмотки статора, т. е. $P4$, $P5$, $P6$.

Начала и концы фаз секционированных обмоток машины обозначаются теми же буквами и цифрами, что и простые обмотки, но с добавлением перед прописными буквами цифр, определяющих каждую из обмоток. Так, при двух обмотках в машине выводы первой из них обозначаются $1C1$, $1C2$, $1C3$ — начала фаз и $1C4$, $1C5$, $1C6$ — концы фаз; выводы второй обмотки — соответ-

Таблица 4.2. Обозначения выводов обмоток трехфазных асинхронных и синхронных машин (по ГОСТ 183-74)

Наименование обмотки	Схема соединения	Число выводов	Название выводов	Обозначение выводов буквенное	
				Начало	Конец
Обмотка статора асинхронных и синхронных трехфазных машин	Открытая схема	6	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	C1 C2 C3	C4 C5 C6
	Звезда	3 или 4	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза Нулевая точка	C1 C2 C3 0	— — — —
	Треугольник	3	Первый зажим Второй зажим Третий зажим	C1 C2 C3	— — —
Обмотка фазного ротора асинхронной машины	Звезда или треугольник	3	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	P1 P2 P3	— — —
	Звезда	4	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза Нулевая точка	P1 P2 P3 0	— — — —
Обмотка возбуждения (индуктора) синхронной машины	—	2	—	И1	И2
Обмотка статора однофазной машины	—	2	—	C1	C2
Обмотка статора однофазного (двухфазного) асинхронного двигателя	—	4	Главная обмотка Вспомогательная обмотка	C1 B1	C2 B2
	—	3	Главная обмотка Вспомогательная обмотка Общая точка	C1 B1 0	— — —

ственно 2C1, 2C2, 2C3 и 2C4, 2C5, 2C6.

В многоскоростных машинах выводы отдельных и полюснопереключаемых обмоток обозначаются так же, как и выводы простых обмоток, но с дополнительными цифрами впереди прописных букв, указывающими число полюсов обмотки при соединении с сетью данных выводов. Например, выводы полюснопереключаемой обмотки машины на $2p = 4$ и 6 обозначаются соответственно 4C1, 4C2, 4C3 и 6C1, 6C2, 6C3.

Для выводов обмоток вновь разрабаты-

ваемых машин ГОСТ 26772-85 устанавливает обозначения, соответствующие СТ СЭВ 3170-81 и Публикации МЭК 34-8 (табл. 4.3). Выводы обозначаются буквами латинского алфавита U, V, W, причем начала и концы каждой фазы — дополнительно цифрами, стоящими после букв: начало — цифрой 1, конец — цифрой 2, например U1, U2, V1, V2; W1, W2, а промежуточные выводы — буквами и последующими цифрами 3, 4 и т. д.

При наличии обмоток, имеющих одинаковые буквенные обозначения, вводятся до-

Таблица 4.3. Обозначение выводов трехфазных асинхронных и синхронных машин (по ГОСТ 26772-85)

Наименование. Схема соединения обмотки	Число выводов	Наименование фазы и вывода	Обозначение выводов	
			Начало	Конец
Обмотка статора. Открытая схема	6	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	<i>U1</i> <i>V1</i> <i>W1</i>	<i>U2</i> <i>V2</i> <i>W2</i>
Обмотка статора. Звезда	3 или 4	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза Точка звезды	<i>U</i> <i>V</i> <i>W</i> <i>N</i>	
Обмотка статора. Треугольник	3	Первый вывод Второй вывод Третий вывод	<i>U</i> <i>V</i> <i>W</i>	
Секционированная обмотка статора	12	Первая фаза Выводы от первой фазы Вторая фаза Выводы от второй фазы Третья фаза Выводы от третьей фазы	<i>U1</i> <i>U3</i> <i>V1</i> <i>V3</i> <i>W1</i> <i>W3</i>	<i>U2</i> <i>U4</i> <i>V2</i> <i>V4</i> <i>W2</i> <i>W4</i>
Расцепленные обмотки статора, предназначенные для последовательного или параллельного включения	—	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	<i>U1</i> <i>U5</i> <i>V1</i> <i>V5</i> <i>W1</i> <i>W5</i>	<i>U2</i> <i>U6</i> <i>V2</i> <i>V6</i> <i>W2</i> <i>W6</i>
Раздельные обмотки статора, предназначенные для последовательного или параллельного включения		Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	<i>1U1</i> <i>2U1</i> <i>1V1</i> <i>2V1</i> <i>1W1</i> <i>2W1</i>	<i>1U2</i> <i>2U2</i> <i>1V2</i> <i>2V2</i> <i>2W2</i> <i>2W2</i>
Обмотки статора многоскоростных асинхронных двигателей. Закрытая схема	6	Выводы первой фазы Выводы второй фазы Выводы третьей фазы	<i>1U—2N</i> <i>1V—2N</i> <i>1W—2N</i>	<i>2U</i> <i>2V</i> <i>2W</i>
	9	Выводы первой фазы Выводы второй фазы Выводы третьей фазы	<i>1U—3N</i> <i>1V—3N</i> <i>1W—3N</i>	<i>2U; 3U</i> <i>2V; 3V</i> <i>2W; 3W</i>
	12	Выводы первой фазы Выводы второй фазы Выводы третьей фазы	<i>1U—2N</i> <i>3U—4N</i> <i>1V—2N</i> <i>3V—4N</i> <i>1W—2N</i> <i>3W—4N</i>	<i>2U</i> <i>4U</i> <i>2V</i> <i>4V</i> <i>2W</i> <i>4W</i>
Обмотка фазного ротора асинхронного двигателя, открытая схема	6	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	<i>K1</i> <i>L1</i> <i>M1</i>	<i>K2</i> <i>L2</i> <i>M2</i>

Продолжение табл. 4.3

Наименование. Схема соединения обмотки	Число выводов	Наименование фазы и вывода	Обозначение выводов	
			Начало	Конец
Обмотка фазного ротора асинхронного двигателя. Звезда	3 или 4	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза Точка звезды	<i>K</i> <i>L</i> <i>M</i> <i>Q</i>	
Обмотка фазного ротора асинхронного двигателя. Треугольник	3	Первый вывод Второй вывод Третий вывод	<i>K</i> <i>L</i> <i>M</i>	
Обмотка возбуждения синхронных машин	—	—	<i>F1</i>	<i>F2</i>

полнительные цифры, стоящие перед буквами, например *1U1*, *2U1* и т. д.

В обозначении отдельных обмоток двигателей, переключаемых на разное число полюсов, меньшая цифра, стоящая перед буквенным обозначением вывода, соответствует меньшей частоте вращения, а большая цифра — большей частоте вращения.

Двойное обозначение, например *1U* — *2N*, *1U* — *3N* и др., применяется для выводов, которые при одной частоте вращения многократных двигателей присоединяются к сети, а при другой замыкаются накоротко между собой. Если на доске выводов отсутствует место для нанесения двойного обозначения, допускается не указывать вторую половину двойного обозначения, но при этом к машине должна быть обязательно приложена схема соединения обмоток.

На чертежах схем обмоток с шестью выводными концами допускается при соединении фаз в треугольник применение на свободном поле рисунка двойных обозначений (*U1W2*, *V1U2*, *W1V2*), а при соединении фаз в звезду — обозначений начал фаз (*U1*, *V1*, *W1*) и тройного обозначения точки звезды (*U2*, *V2*, *W2*). При применении обозначений для внутренних присоединительных выводов обмоток их следует указывать в скобках, например, точка соединения обмоток фазного ротора асинхронного двигателя в звезду обозначается (*Q*).

Обозначения выводов обмоток двухфазных машин переменного тока образуются из обозначений трехфазных машин (см. табл. 4.3) без букв *W* и *M*.

Выводы однофазных синхронных и асинхронных машин обозначаются в соответствии с табл. 4.4.

Выводы датчиков температурной за-

Таблица 4.4. Обозначения выводов обмоток однофазных асинхронных и синхронных машин (по ГОСТ 26772-85)

Наименование обмотки или выводов	Обозначения выводов	
	Начало	Конец
Обмотки статора:		
главная обмотка	<i>U1</i>	<i>U2</i>
вспомогательная обмотка	<i>Z1</i>	<i>Z2</i>
Обмотка возбуждения синхронных машин	<i>F1</i>	<i>F2</i>
Выводы обмотки для реле частоты вращения	<i>R1</i>	<i>R2</i>
Дополнительные выводы (конденсатор, раздельник и др.)	<i>X1</i>	<i>X2</i>

щиты вновь разрабатываемых машин, которые реагируют только на температуру, следует обозначать: *T1* — начало, *T2* — конец, а датчиков, реагирующих на температуру и ток: начало — *P1*, конец — *P2*.

Все обозначения выводов наносится непосредственно на концы обмоток (на кабельные наконечники, на шинные концы или на специальные обжимы, плотно закрепленные на проводах). Навеска на концы обмоток бирок с обозначениями не допускается.

Для всех машин, разработанных ранее, модернизируемых и вновь разрабатываемых с диаметром корпуса не более 40 мм, в которых буквенное обозначение выводных концов затруднено недостатком места, допускается применять обозначения выводов цветовым кодом — проводами с разноцветной изоляцией, краской и т. п. Цветовые обозна-

чения выводных концов обмоток приведены в табл. 4.5 и 4.6.

Выводы обмоток статоров двухфазных асинхронных двигателей могут иметь буквенно-цифровой, цифровой или цветовой коды обозначений (табл. 4.7).

Обозначения выводов шаговых двигателей и информационных машин (тахогенераторов, сельсинов, индукционных датчиков

Таблица 4.5. Цветовое обозначение выводов обмоток статора трехфазных машин переменного тока

Схема соединения обмотки	Число выводов	Наименование фазы или вывода	Цветовой код выводов	
			Начало	Конец
Открытая схема	6	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	Желтый Зеленый Красный	Желтый с черным Зеленый с черным Красный с черным
Звезда	3 или 4	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза Нулевая точка	Желтый Зеленый Красный Черный	— — — —
Треугольник	3	Первый вывод Второй вывод Третий вывод	Желтый Зеленый Красный	— — —

Таблица 4.6. Цветовое обозначение выводов обмоток статора однофазных двигателей

Число выводов	Наименование обмотки или выводов	Цветовой код выводов	
		Начало	Конец
4	Главная обмотка	Красный	Красный с черным
	Вспомогательная обмотка	Синий	Синий с черным
3	Главная обмотка	Красный	—
	Вспомогательная обмотка	Синий	—
	Общая точка	Черный	—

угла и т. п.) приведены во втором томе Справочника.

Взаимное расположение по пазам статора или ротора начал фаз распределенных

Таблица 4.7. Обозначения выводов обмоток двухфазных асинхронных двигателей (по ГОСТ 183-74)

Наименование обмотки	Буквенно-цифровой код	Цифровой код	Цветовой код
Возбуждения	B1, B2	1, 2	Красный, синий
Управления	У1, У2	3, 4	Белый, черный
	У3, У4	5, 6	Белый, черный

обмоток должно подчиняться следующему правилу: электрический угол между началами фаз обмотки должен быть равен углу между векторами питающего напряжения или в целое число раз больше него. Таким образом, электрический угол между началами фаз трехфазной обмотки должен быть равен $120^\circ k$, где k — любое целое число, не кратное 3. Электрический угол между началами фаз двухфазной обмотки должен быть равен $90^\circ k$, где k — любое целое число, не кратное 2.

В статорах стремятся расположить выводы обмоток как можно более компактно, поэтому в большинстве случаев принимают $k = 1$. При этом в трехфазных обмотках начала фаз располагаются через 120° , т. е. через $2q$ зубцовых делений, а в двухфазных обмотках — через 90° , т. е. через q зубцовых делений.

Начала фаз обмоток фазных роторов асинхронных двигателей стремятся расположить симметрично по окружности ротора для того, чтобы избежать дисбаланса, который появится при неравномерном по окружности расположении начал фаз и перемычек в фазах. В трехфазных машинах оба условия совместимы при $k = p$. В машинах с p , кратным 3, достигнуть полной геометрической симметрии в расположении выводных концов обмотки ротора не удастся.

4.5. Схемы трехфазных распределенных обмоток

4.5.1. Однослойные обмотки

Фаза однослойной обмотки образуется из нескольких (по числу пар полюсов) катушечных групп, состоящих либо из концен-

трических, охватывающих одна другую и разных по размерам катушек, либо из катушек, имеющих одинаковые размеры. Обмотку первого вида называют концентрической однослойной, второго — равнокатушечной однослойной.

Более широко распространены концентрические однослойные обмотки (рис. 4.7), которые выполняются в асинхронных машинах мощностью до 15–16 кВт. Для уменьшения длины вылета лобовых частей обмотки с четным q часто выполняют вразвалку, когда лобовые части половины катушек одной катушечной группы отгибают в одну сторону, а другой половины — в противоположную (рис. 4.8). Широкое распространение концентрических однослойных обмоток объясняется возможностью механизировать

процесс их укладки в пазы как на станках для непосредственной намотки, так и на станках, работающих по принципу втягивания предварительно намотанных заготовок одной или нескольких катушечных групп.

Помимо однослойных концентрических обмоток находят применение также шаблонные однослойные обмотки, состоящие из одинаковых по размерам катушечных групп (рис. 4.9, а). При $q = 2$ у шаблонной обмотки, выполненной вразвалку, одинаковы размеры и форма всех катушек (рис. 4.9, б). Такую обмотку называют цепной или равнокатушечной.

Однослойные обмотки могут быть соединены в несколько параллельных ветвей, возможное число которых определяется из условия $a = p/k$, где k — целое число. Макси-

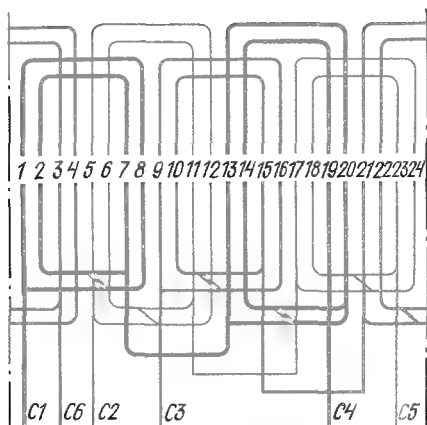


Рис. 4.7. Схема однослойной концентрической обмотки, $z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$

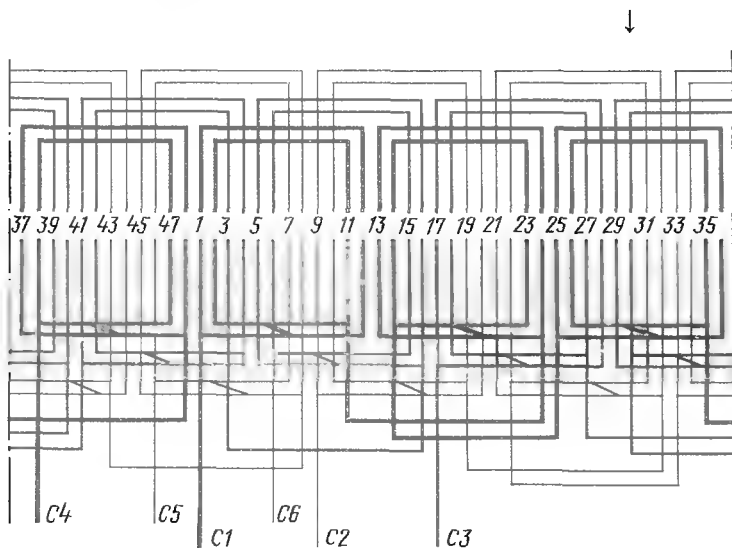


Рис. 4.8. Схема однослойной концентрической обмотки, выполненной вразвалку, $z = 48$, $2p = 4$, $q = 4$

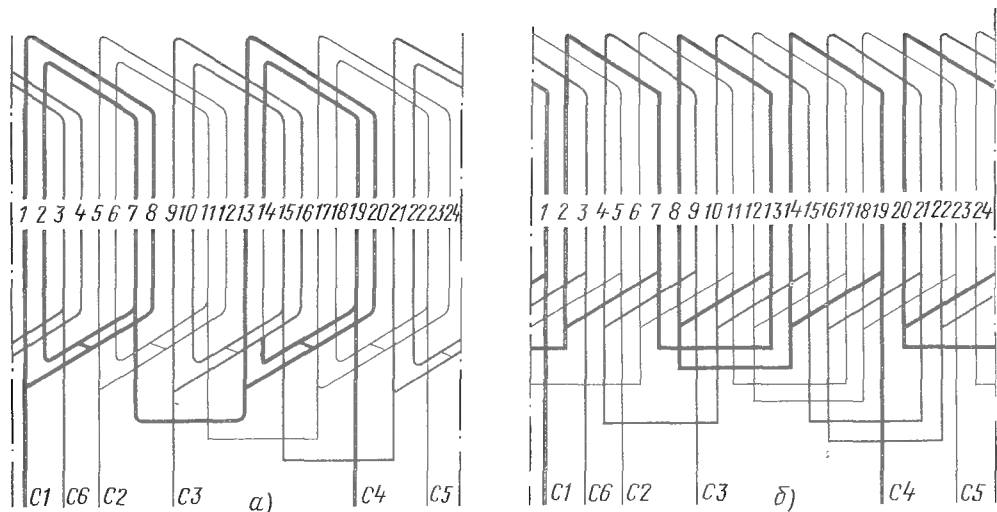


Рис. 4.9. Схемы однослойных обмоток, $z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$:

a – шаблонной; b – цепной

максимально возможное число параллельных ветвей одной фазы $a_{\max} = p$.

4.5.2. Двухслойные петлевые обмотки

Двухслойные петлевые обмотки (рис. 4.10) применяют практически во всех маши-

нах средней и большинстве машин большой мощности. Основными достоинствами двухслойных петлевых обмоток являются возможность выполнения катушек с укорочением шага (при этом $k_y < 1$) и равномерность распределения их лобовых частей. К недостаткам относятся наличие изоляционной прокладки между слоями обмотки в пазу и не-

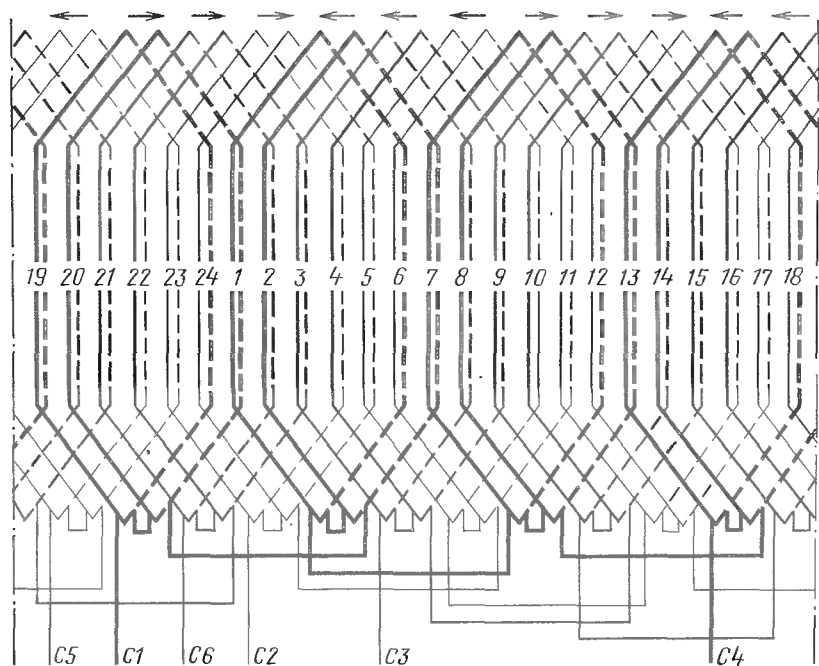
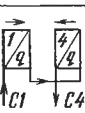
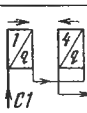
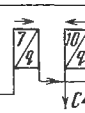
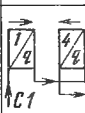
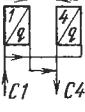
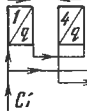
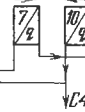
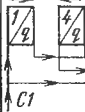
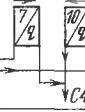
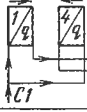


Рис. 4.10. Схема двухслойной обмотки, $z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$

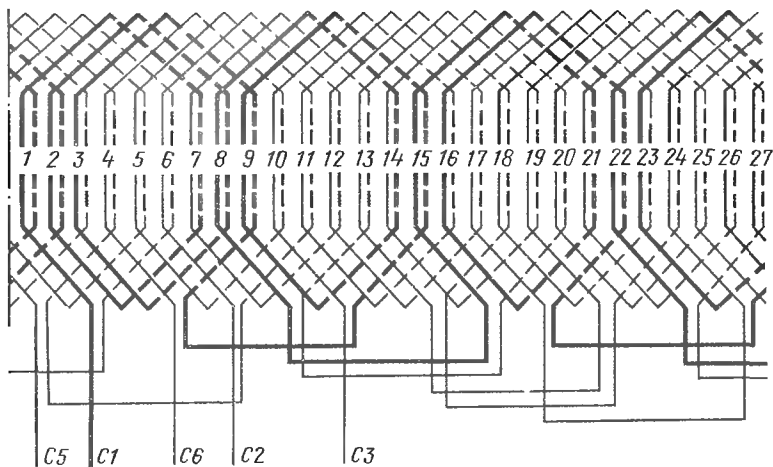
Таблица 4.8. Варианты соединения обмотки с различным числом полюсов в несколько параллельных ветвей.

a	$2p=2$	$2p=4$	$2p=6$	$2p=8$
1				
2				
3	—	—		—
4	—		—	

обходимость подъема шага при укладке, что не дает возможности механизировать процесс укладки двухслойных обмоток в пазы машины.

Число возможных параллельных ветвей двухслойных обмоток определяется из усло-

вия $a = 2p/k$, где k — целое число. Наибольшее возможное число параллельных ветвей $a_{\max} = 2p$. Различные способы соединения обмоток в несколько параллельных ветвей показаны на упрощенных схемах (табл. 4.8), в которых каждая катушечная группа изоб-



ражена одним символом — прямоугольником, над диагональю которого цифрой указан порядковый номер группы от начала обмотки, а под диагональю — число катушек в данной катушечной группе. Такое изображение схемы возможно, так как все катушки в группах соединяются между собой только последовательно. Стрелки над каждым прямоугольником, обозначающим катушечные группы, условно показывают полярность данной группы. Для обмоток с $2p=6$ и 8 в таблице приведены не все возможные варианты соединений. Они, так же как и соединения для обмоток с любыми другими числами $2p$ и q , могут быть получены при соблюдении следующих условий: число катушечных групп в каждой параллельной ветви обмотки должно быть одинаковым, а полярности групп должны последовательно чередоваться.

Петлевые обмотки статоров крупных машин, например турбогенераторов, образуются не из цельных катушек, а из отдельных стержней. Однако все соединения схем таких обмоток не отличаются от рассмотренных схем двухслойных петлевых катушечных обмоток.

4.5.3. Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу

Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу (рис. 4.11) характеризуются дробностью числа $q = b + c/d = N/d$. Обмотки состоят из катушечных групп с различным числом катушек: малые группы содержат b катушек, большие — $b + 1$ катушку каждая. Большие и малые катушечные груп-

пы располагаются в пазах магнитопровода в определенной периодической последовательности, причем каждая фаза обмотки содержит целое число периодов чередования. Общее число катушечных групп в периоде d , из них s больших и $d-s$ малых. Общее число катушек в периоде N .

В технической документации последовательность расположения больших и малых катушечных групп обмотки обозначается рядом цифр, каждая из которых указывает число катушек в данной катушечной группе. Для схемы, изображенной на рис. 4.11, такой последовательностью будет $|3222|3222|...$. Методы определения последовательности чередования катушечных групп, при которой достигается максимально возможная симметрия МДС фаз обмотки, приводятся в [9, 10, 18].

Параллельные ветви в обмотках с дробным q могут быть образованы при условии, что каждая из них будет содержать целое число периодов чередования. Допустимые числа параллельных ветвей определяются из условия $a = 2p/(dk)$, где k — целое число. Наибольшее возможное число параллельных ветвей обмотки $a_{\max} = 2p/d$.

Двухслойные обмотки с дробным q используются в крупных многополюсных машинах и в ряде машин средней мощности при выполнении нескольких типоразмеров машин на одном и том же штампе статора, а также в фазных роторах асинхронных двигателей при целом числе пазов на полюс и фазу статора и при $q_2 = q_1 \pm 0,5$.

Однослойные обмотки могут быть также выполнены с дробным числом q , однако такие схемы обмоток встречаются редко.

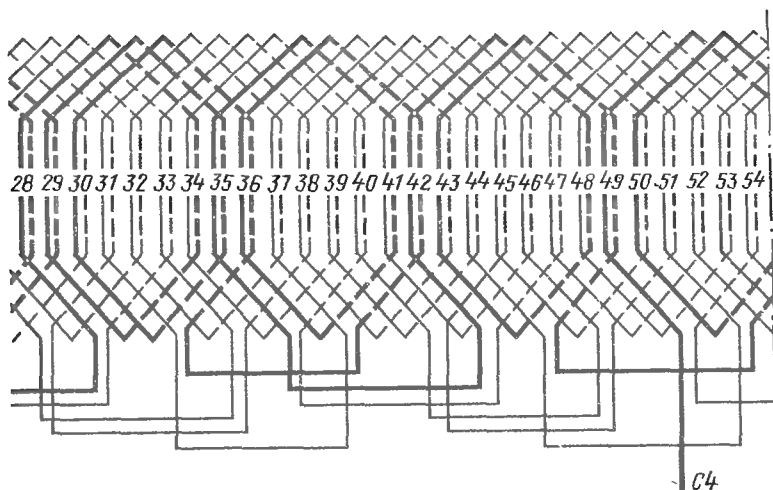


Рис. 4.11. Схема двухслойной обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу, $z = 54$, $2p = 8$, $q = 2\frac{1}{4}$

4.5.4. Стержневые волновые обмотки машин переменного тока

В современных машинах переменного тока волновыми выполняют только двухслойные стержневые обмотки статоров машин большой мощности, например крупных вертикальных гидрогенераторов, и стержневые обмотки фазных роторов асинхронных двигателей мощностью более 50–60 кВт. Эти виды обмоток различаются как по конструкции, так и по схемам соединений.

В статорах мощных многополюсных гидрогенераторов для достижения нужного коэффициента k_p применяют стержневую волновую обмотку с дробным q со знаменателем дробности $d=5$; 7 и более. Обмотка

обычно соединяется в несколько параллельных ветвей и имеет сложное чередование катушечных групп в периоде.

Стержневые волновые обмотки фазных роторов (рис. 4.12) асинхронных двигателей выполняются с диаметральным шагом и в большинстве машин — с укороченными переходными шагами (см., например, шаги 10–16; 19–24 и т. д. на схеме рис. 4.12). Находят применение также и другие разновидности стержневых волновых обмоток роторов, например обмотки с удлинёнными переходными шагами, обмотки с переходными стержнями, выполняющими роль перемычек в схеме, обмотки с дробными числами пазов на полюс и фазу (рис. 4.13, 4.14). Для облегчения составления и проверки схем

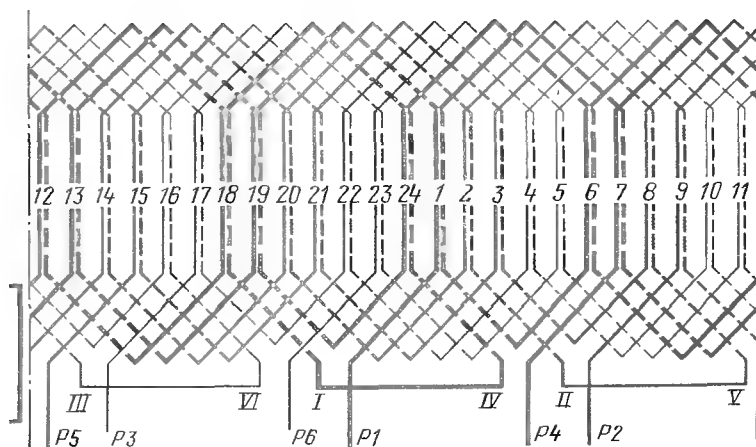


Рис. 4.12. Схема стержневой волновой обмотки фазного ротора асинхронной машины с укороченными переходными шагами, $z=24$, $2p=4$, $q=2$:

I, II, III — начала перемычек; IV, V, VI — концы перемычек

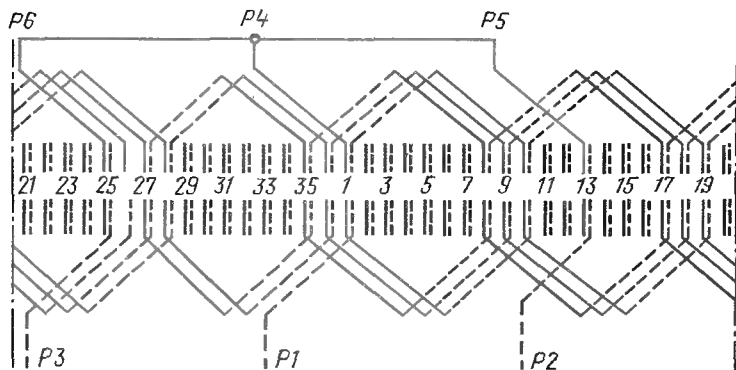


Рис. 4.13. Схема соединения одной фазы стержневой волновой обмотки ротора асинхронной машины с переходными стержнями, $z=36$, $2p=4$, $q=3$

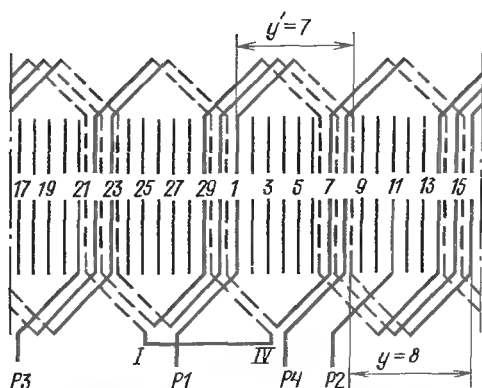
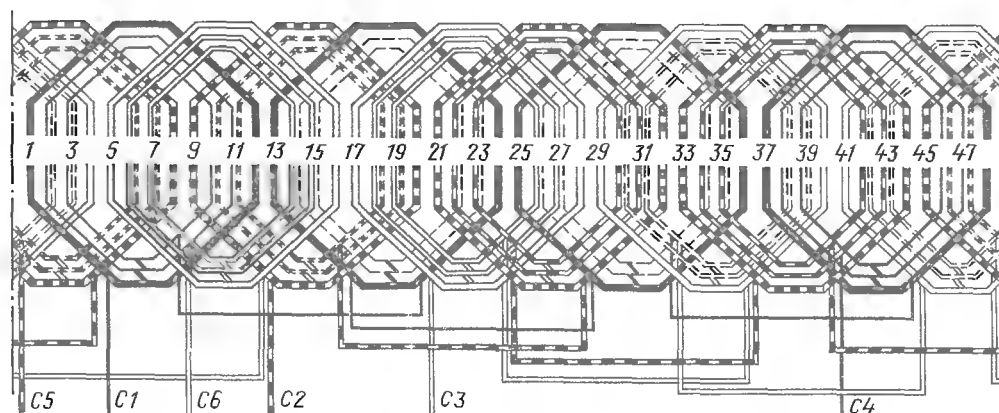


Рис. 4.14. Схема соединения одной фазы стержневой волновой обмотки ротора асинхронной машины при дробном числе пазов на полюс и фазу, $z = 30$, $2p = 4$, $q = 2\frac{1}{2}$:

y — шаг обмотки со стороны выводов; y' — шаг обмотки со стороны, противоположной выводам

Рис. 4.15. Схема одно-двухслойной трехфазной обмотки, $z = 48$, $2p = 4$, $q = 4$



стержневых волновых обмоток фазных роторов разработаны таблицы с указанием номеров пазов, в которых располагаются начальные и конечные стержни фаз и стержни, соединенные перемычками.

4.5.5. Обмотки для мехавизированной укладки

Современные обмоточные станки позволяют укладывать только обмотки статоров, не требующие поднятия шага на заключительной стадии укладки. Такими обмотками являются однослойные концентрические (см. п. 4.5.1), одно-двухслойные (рис. 4.15) и двухслойные концентрические (рис. 4.16).

Катушечная группа одно-двухслойной обмотки содержит катушки с различным числом витков: одинарным — малые катушки и двойным — большие катушки. Общее число катушек в каждой катушечной группе составляет $q - N_{б.к.}$, где $N_{б.к.}$ — число больших катушек в группе. В трехфазных машинах нашли применение одно-двухслойные обмотки только с одной большой катушкой

в группе. В двухфазных машинах используются одно-двухслойные обмотки с большим числом q (см. § 4.6).

Двухслойная концентрическая обмотка (рис. 4.16) строится на базе обычной двухслойной путем изменения последовательности соединений в лобовых частях. Она может быть выполнена вразвалку по типу однослойных концентрических обмоток.

4.5.6. Обмотки многоскоростных асинхронных двигателей

Наиболее экономичным ступенчатым способом изменения частоты вращения асинхронных двигателей является переключение двигателя на работу с другим числом полюсов. Возможность изменения числа полюсов двигателя может быть достигнута установкой в пазы статора двух независимых обмоток с разным числом полюсов (двухобмоточные многоскоростные двигатели), например 4A132M6/4Y3, 4AM6/4Y3, либо переключением схемы соединения катушечных групп одной обмотки (однообмоточные

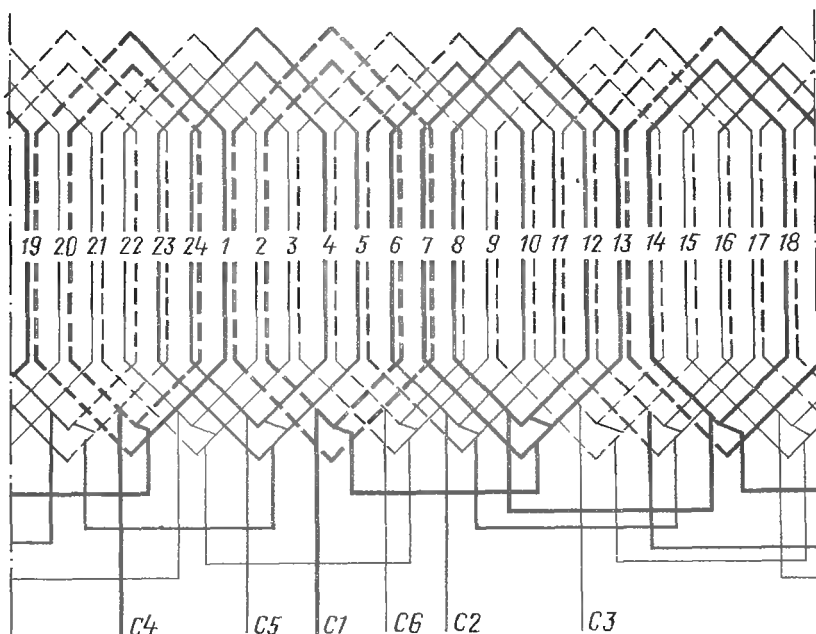


Рис. 4.16. Схема двухслойной концентрической обмотки, $z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$

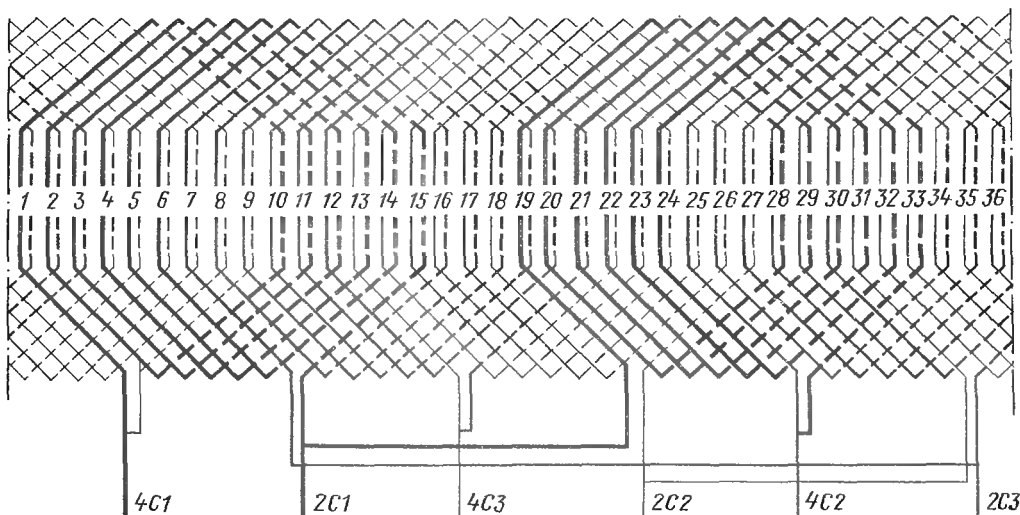


Рис. 4.17. Схема двухслойной двухскоростной обмотки статора, $z = 36$, $2p = 4/2$, соединение Δ/YU

двухскоростные двигатели, рис. 4.17). Последний метод широко применяется, в частности, для изменения числа полюсов двигателей в отношении 1:2 (двигатели 4A100S8/4Y3, 4A180M12/6Y3, 4A200L4/2Y3 и др.).

В последние годы разработаны схемы обмоток, дающие возможность путем переключения катушечных групп изменять числа полюсов и в отношении, отличном от 1:2, с сохранением достаточно высокого обмоточного коэффициента для обеих частот вра-

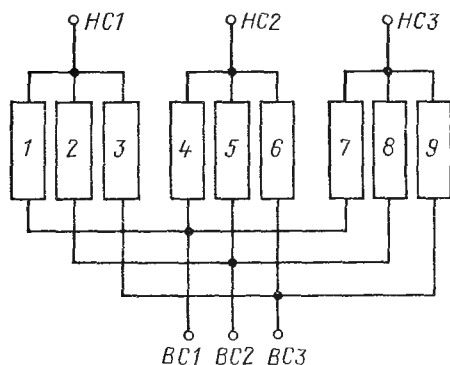


Рис. 4.18. Принципиальная схема соединений двухскоростного асинхронного двигателя по методу ПАМ:

1–9 – катушечные группы обмотки; HC1–HC3 – выводы обмотки для включения на низшую частоту вращения; BC1–BC3 – выводы обмотки для включения на высшую частоту вращения

щения и числа выводных концов обмотки (не более шести). Особенность этих схем заключается в специфической компоновке катушечных групп из разноточковых катушек, при которой изменение точек подсоединения обмотки к питающей сети приводит не только к изменению полярности отдельных катушечных групп, но и к переключению групп между фазами или даже к отключению отдельных катушек. При переключениях изменяется и амплитуда МДС обмотки при разных числах полюсов, поэтому такой метод построения схем называют полюсно-амплитудной модуляцией (ПАМ). Принцип переключений, характерный для этого метода, иллюстрируется принципиальной схемой (рис. 4.18). Такие полюснопереключаемые обмотки находят применение, например, в двухскоростных асинхронных двигателях серии 4А $h = 180 \div 250$ мм при соотношении чисел полюсов 8:6.

Полюснопереключаемые обмотки асинхронных двигателей серии 4А с $h = 160 \div 200$ мм при соотношении чисел полюсов 6:4 построены по схеме Харитонов. Двигатели имеют две обмотки: основную двухслойную и дополнительную однослойную (рис. 4.19). Основная обмотка – полюснопереключаемая. При соединении на $2p = 4$ включается только основная обмотка, соединенная треугольником при $a = 1$. При работе двигателя на $2p = 6$ основная обмотка соединяется в звезду с двумя параллельными вет-

вями и последовательно с ней включается дополнительная обмотка (рис. 4.19, в).

Для трехскоростных и четырехскоростных асинхронных двигателей используют оба принципа изменения числа полюсов: устанавливают две независимые обмотки, каждая из которых (в четырехскоростных) или одна из них (в трехскоростных двигателях) выполняется полюснопереключаемой. В обмотках в большинстве случаев используют более простые схемы переключения числа полюсов в отношении 1:2. Так, двигатели 4А112М6/4/2У3 имеют две независимые обмотки статора, одна из которых рассчитана на шесть полюсов, а вторая полюснопереключаемая – на два и четыре полюса. В двигателях 4А180М12/8/6/4У3 обе обмотки выполнены полюснопереключаемыми, одна – на 12 и 6 полюсов, а вторая – на 8 и 4 полюса.

В четырехскоростных двигателях серии 4А с высотами оси вращения 100 мм при соотношении чисел полюсов 8:6:4:2 обмотка на соотношение числа полюсов 8:6 построена по методу ПАМ. Схемы каждой из обмоток таких машин не имеют принципиальных отличий от рассмотренных выше.

4.6. Особенности схем обмоток двухфазных и однофазных двигателей

Двухфазные и однофазные двигатели имеют на статоре две обмотки (две фазы обмотки), расположенные с пространственным сдвигом их осей на электрический угол 90° . Двухфазные двигатели применяются для управляемых приводов и в схемах автоматического управления. Они питаются от двухфазной сети, сдвиг фаз в которой создается схемой управления. Обмотки в статоре двигателя – обмотка возбуждения и обмотка управления – располагаются так, что их оси сдвинуты в пространстве на электрический угол 90° . Они могут быть и неодинаковыми. Если МДС, создаваемые токами каждой из обмоток, равны, а их фазы сдвинуты по времени на 90° , в двигателе создается вращающееся круговое электромагнитное поле. При изменении МДС одной из обмоток или угла сдвига фаз токов поле становится эллиптическим и электромагнитный момент двигателя уменьшается.

Обмотка возбуждения двухфазных двигателей питается неизменным по амплитуде напряжением. Регулирование осуществляется изменением амплитуды тока обмотки управления (амплитудное управление) или его

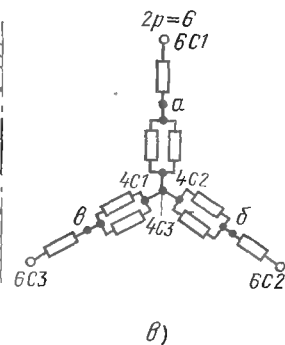
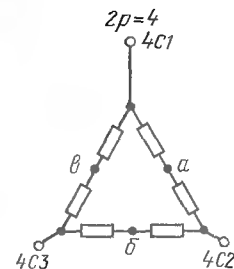
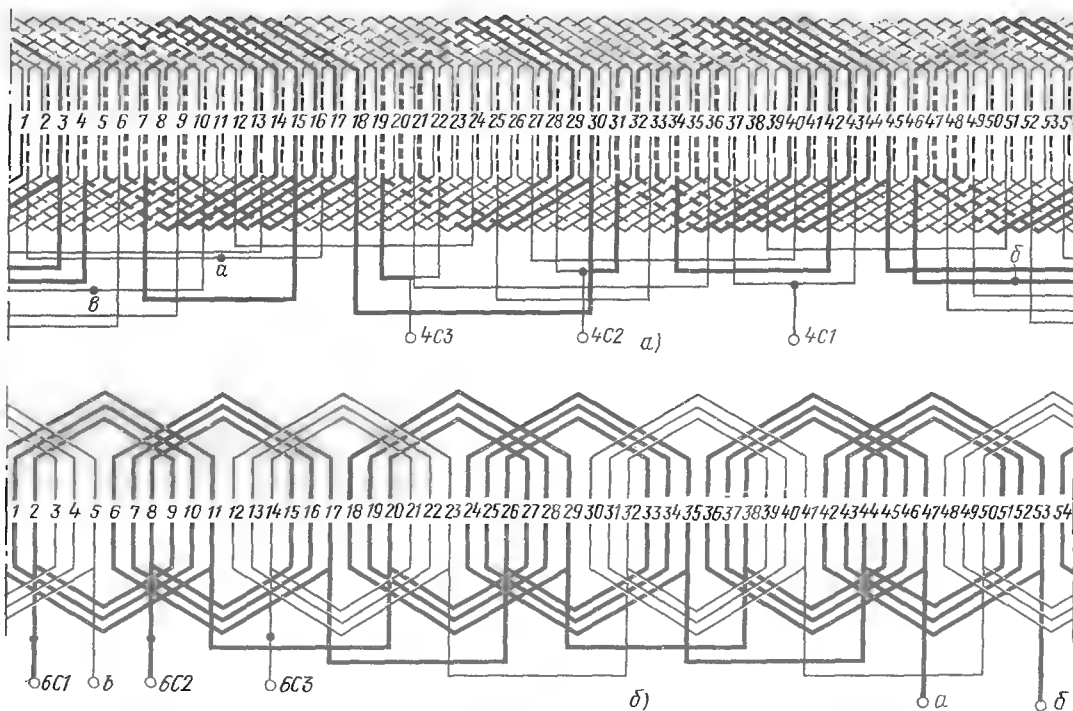


Рис. 4.19. Полуснопереключаемая обмотка по схеме Харитонова, $z = 54$, $2p = 6/4$:

a — основная обмотка; b — дополнительная обмотка; γ — соединение основной и дополнительной обмоток на $2p = 4$ и 6

фазы (фазовое управление). Часто применяется регулирование и фазы, и амплитуды тока обмотки управления (амплитудно-фазовое управление).

Однофазные двигатели питаются от однофазной сети. В однофазных конденсаторных двигателях обмотки статора выполняются различными. Во время работы двигателя они постоянно соединены с сетью. Вращающееся поле образуется за счет сдвига по фазе токов одной из обмоток путем последовательного с ней включения конденсатора. Емкость постоянно включенного (рабочего) конденсатора рассчитывается исходя из условия получения кругового поля при номинальной нагрузке двигателя. Для получения большого момента при пуске двигателя емкости рабочего конденсатора оказывается недостаточно, поэтому на время пуска двигателя параллельно с рабочим включают пусковой конденсатор, который отключается после разгона двигателя. Суммарная емкость рабочего и пускового конденсаторов обеспечивает возрастание магнитного потока и тока двигателя, что увеличивает пусковой момент двигателя.

В однофазных двигателях с короткозамкнутым витком на полюсе (двигателях с экранированными полюсами) одна из обмоток статора состоит из многовитковых катушек, насаженных на сердечники явно выраженных полюсов. Вторая обмотка представляет собой короткозамкнутый виток, охватывающий часть площади полюсного наконечника. Ток в витке, возникающий под действием наводимой в нем ЭДС, изменяет фазу потока через эту часть полюса. Поток раздваивается, и возникает эллиптическое поле. Двигатели имеют небольшой пусковой момент и применяются в приводах с малым моментом сопротивления на валу во время пуска, например в бытовых вентиляторах. Из-за низких энергетических показателей двигателей с экранированными полюсами их выпускают лишь на небольшие мощности — до нескольких десятков ватт.

Большинство однофазных асинхронных двигателей рассчитано на работу при пульсирующем электромагнитном поле, созданном МДС одной из обмоток — главной (рабочей) фазы обмотки. Вторая обмотка двигателя — вспомогательная. Ее называют также пусковой, так как она включается лишь на время пуска для создания вращающегося поля, необходимого для образования пускового момента. После пуска обмотка отключается и не принимает участия в работе двигателя.

Рабочая обмотка занимает $2/3$ пазов

статора, пусковая — $1/3$. Она, как правило, отличается от рабочей по числу витков, катушек и по площади поперечного сечения проводников. Сдвиг фаз токов рабочей и пусковой обмоток достигается изменением активного или реактивного сопротивления пусковой обмотки по сравнению с рабочей. С этой целью последовательно с пусковой обмоткой включается пусковой элемент — резистор или конденсатор (соответственно однофазные двигатели с пусковым сопротивлением или пусковым конденсатором). Чтобы избежать установки пусковых элементов, которые должны быть рассчитаны на пусковой ток обмотки, во многих двигателях пусковую обмотку выполняют с повышенным сопротивлением. Для этого ее наматывают проводом меньшего сечения, чем рабочую, или укладывают дополнительные бифилярные витки. С установкой бифилярных витков длина провода обмотки возрастает, ее активное сопротивление увеличивается, а индуктивное сопротивление и МДС остаются такими же, как и без бифилярных витков.

В статорах большинства одно- и двухфазных машин применяют вспяные распределенные обмотки. Сосредоточенные катушечные обмотки используются только в некоторых конденсаторных двигателях малой мощности и асинхронных двигателях с экранированными полюсами.

Среди распределенных обмоток наибольшее распространение получили однослойные обмотки с концентрическими катушками и одно-двухслойные. Реже применяют двухслойные обмотки с укорочением шага.

Однослойные концентрические обмотки для уменьшения вылета лобовых частей катушек в большинстве машин выполняют вразвалку, так же как в трехфазных машинах (рис. 4.20, а), причем при нечетном q большая катушка каждой группы выполняется «расчесанной», т. е. подразделяется по числу витков полюсам и лобовые части каждой половины отгибаются в противоположные стороны (рис. 4.20, б).

Одно-двухслойные обмотки, структура которых рассмотрена в п. 4.5.5, выполняются с одной или большим числом больших катушек в каждой катушечной группе (рис. 4.21).

Схемы двухслойных одно- и двухфазных обмоток по существу не отличаются от аналогичных схем трехфазных обмоток, рассмотренных в п. 4.5.2.

В однофазных двигателях обмотки главной и пусковой фаз в большинстве случаев выполняются однослойными из концентрических катушек (рис. 4.22). В машинах с ча-

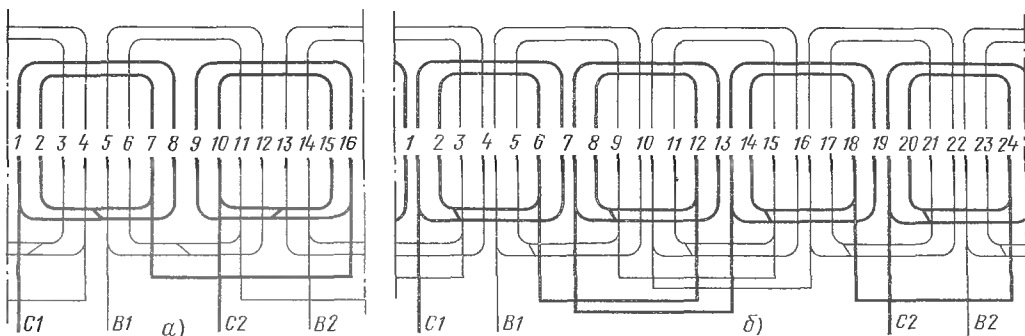


Рис. 4.20. Схемы двухфазных однослойных concentрических обмоток:

a — вразвалку, $z = 16$, $2p = 2$, $q = 4$; *б* — с «расчесанными» катушками, $z = 24$, $2p = 4$, $q = 3$

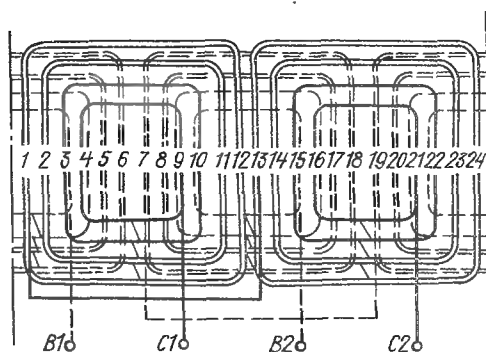


Рис. 4.21. Схема двухфазной одно-двух-слойной обмотки асинхронного конденсаторного двигателя, $z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$

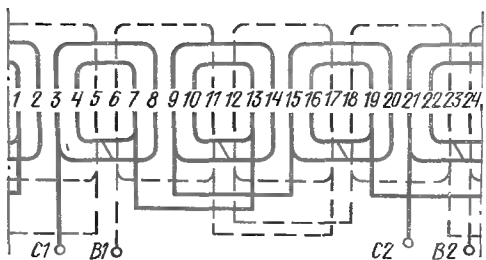


Рис. 4.22. Схема однослойной concentрической обмотки однофазного асинхронного двигателя с пусковой фазой, $z = 24$, $2p = 4$, $Q_A = 4$, $Q_B = 2$

стично бифилярной намоткой пусковых фаз каждая катушка пусковой фазы наматывается из двух секций со встречным направ-

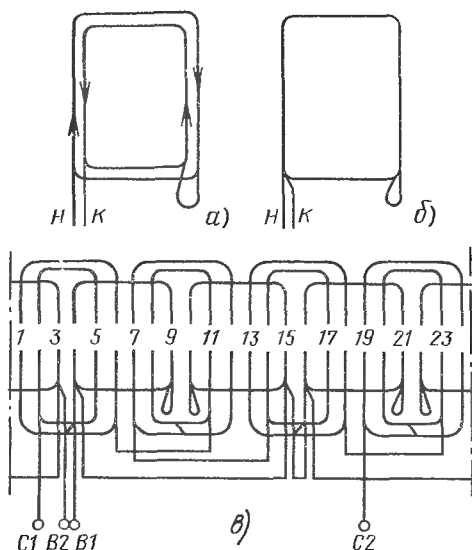


Рис. 4.23. Схема однослойной concentрической обмотки однофазного асинхронного двигателя с повышенным сопротивлением пусковой фазы, $z = 24$, $2p = 4$:

a — катушка с бифилярной намоткой витков; *б* — условное обозначение катушки с бифилярными витками в схеме; *в* — схема обмотки

лением намотки. Одна секция, направление намотки которой совпадает с нужной для пуска машины полярностью, называется основной, а секция со встречной намоткой — бифилярной (рис. 4.23, *a*). Бифилярная секция имеет меньшее число витков, чем основная. На схемах обмоток такие катушки обозначают петлей, которая показывает наличие в данной катушке бифилярно намотанных витков (рис. 4.23, *б*).

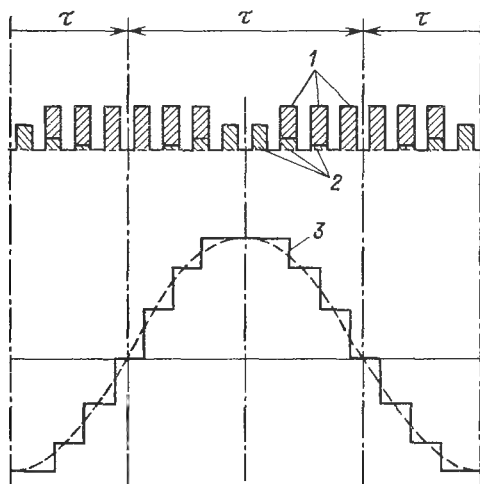


Рис. 4.24. Распределение проводников синусной обмотки по пазам статора и кривая МДС обмотки асинхронного однофазного двигателя с пусковой фазой:

1 — проводники рабочей обмотки; 2 — проводники пусковой обмотки; 3 — кривая МДС

В ряде специальных машин малой мощности применяют более сложные обмотки с неравновитковыми катушками, например синусную обмотку. В синусной обмотке проводники фазы распределены в пазах неравномерно. Их число меняется от пазы к пазу, что позволяет приблизить кривую МДС фазы к синусоидальной кривой (рис. 4.24). Обмоточный коэффициент таких

обмоток рассчитывается с помощью векторных диаграмм — звезд пазовых ЭДС.

4.7. Обмотки якорей машин постоянного тока

4.7.1. Особенности конструктивного выполнения обмоток якоря

Обмотки якорей машин постоянного тока двухслойные, в машинах мощностью до 30—40 кВт выполняются из круглого провода, в машинах большей мощности или специального назначения — из прямоугольного обмоточного провода. Основным элементом обмотки является секция, которая состоит из одного или нескольких витков. Обмотку с одновитковыми секциями называют стержневой. Выводные концы каждой секции соединены с коллекторными пластинами. Так как каждая пластина коллектора соединяется с началом одной и концом второй секции, то число коллекторных пластин K равно числу секций S в обмотке якоря.

Несколько секций, пазовые стороны которых размещены в одном слое пазы и имеют общую корпусную изоляцию, образуют катушку обмотки. Катушка имеет столько пар выводных концов, из скольких секций она состоит. Примеры заполнения пазов якоря проводниками (секционными сторонами) и изоляцией обмоток из круглого и прямоугольного проводов приведены на рис. 4.25.

Обмотки якорей могут быть петлевыми или волновыми, простыми или сложными.

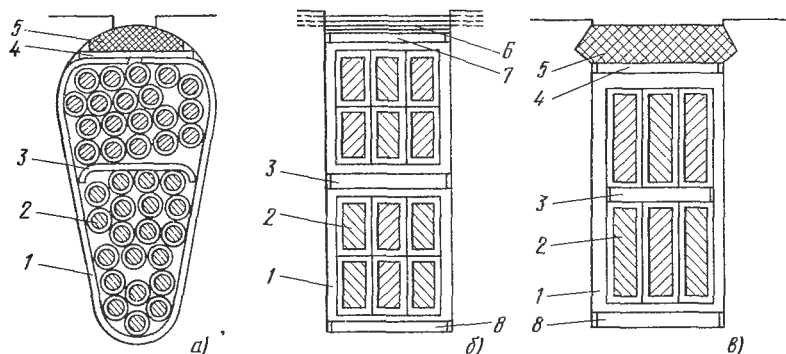


Рис. 4.25. Примеры заполнения пазов якорей машин постоянного тока проводниками обмотки и изоляцией:

а — полуовальный полузакрытый паз, обмотка из круглого провода; б — прямоугольный открытый паз, обмотка из прямоугольного провода ($u_n = 3$, $w_s = 2$); в — прямоугольный открытый паз, стержневая обмотка ($u_n = 3$, $w_s = 1$); 1 — корпусная изоляция; 2 — проводники обмотки; 3 — прокладка между слоями; 4 — прокладка под клин; 5 — пазовый клин; 6 — проволочный бандаж; 7 — прокладка под бандаж; 8 — прокладка на дно пазы

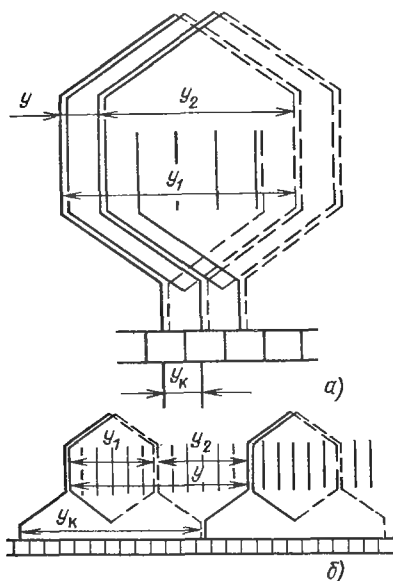


Рис. 4.26. Обозначения шагов обмоток якоря:

a — петлевой; *b* — волновой

Они характеризуются двумя частичными шагами, шагом по коллектору и по пазам (рис. 4.26). Частичные шаги (первый y_1 , второй y_2 и результирующий y) измеряются в так называемых элементарных пазух и не имеют эквивалента в линейных размерах. Под элементарным понимаем условный паз, в котором расположено по одной секционной стороне в каждом слое. Отсюда число элементарных пазов якоря $z_3 = S = K = zu_n$, где u_n — число секций в катушке якоря. Шаг по коллектору y_k измеряется числом коллекторных делений и определяет расстояние между началом и концом секции по окружности коллектора. Расстояние между сторонами катушки в пазовых делениях якоря определяет шаг обмотки по пазам y_2 .

Шаг по пазам и первый частичный шаг связаны соотношением $y_2 = y_1/u_n$. В большинстве обмоток y_1/u_n — целое число. При этом обмотка равносекционная. Если y_1/u_n не целое число, то обмотка ступенчатая. Ступенчатых обмоток по возможности избегают из-за технологических трудностей их выполнения.

4.7.2. Петлевые обмотки якоря

В простых петлевых обмотках $y = y_k = \pm 1$ и $y = y_1 - y_2$. Больше распространение получили обмотки с $y_k = +1$ (рис. 4.27),

так как при $y_k = -1$ лобовые части секций несколько удлиняются и возникает дополнительное перекрещивание в лобовых частях обмотки. Первый частичный шаг петлевой обмотки близок к полному делению: $y_1 = z_3/2p \pm \xi$, где ξ — дробь, при которой y_1 — целое число. Величина ξ характеризует укорочение (удлинение) шага y_1 по сравнению с полным делением. Обмотки с укороченными шагами более употребительны.

Петлевая обмотка требует установки щеток через каждое полное деление, т. е. на $2p$ щеточных болтах. При этом в обмотке образуется $2p$ параллельных ветвей. Таким образом, в простой петлевой обмотке число параллельных ветвей всегда равно числу полюсов, т. е. $2a = 2p$. Несимметрия ЭДС и сопротивлений параллельных ветвей вызывает возможность возникновения уравнивающих токов, перегружающих щеточные контакты и ухудшающих коммутацию. Поэтому в якорях с петлевой обмоткой машин с $2p > 2$ обязательно устанавливают уравнивающие соединения первого рода.

На рис. 4.27 условно показаны только два уравнивательных соединения. На якорях машин обычно устанавливают по несколько соединений на каждую пару полюсов либо по одному соединению на каждый паз якоря. В машинах большой мощности с затрудненной коммутацией каждая секция обмотки якоря соединяется уравнительным соединением. Конструктивно уравнительные соединения располагаются под лобовыми частями обмотки якоря со стороны коллектора или со стороны, противоположной коллектору (рис. 4.28). Установка уравнительных соединений приводит к усложнению технологического процесса изготовления и удорожанию машины, поэтому петлевую обмотку применяют лишь в тех машинах, в которых не может быть выполнена простая волновая обмотка.

В машинах с большими номинальными токами якоря для увеличения числа параллельных ветвей выполняют сложную петлевую обмотку. Число параллельных ветвей в сложной петлевой обмотке $2a = 2pm$, и шаг по коллектору $y_k = m$, где m — число ходов обмотки.

В зависимости от отношения K/m сложная петлевая обмотка может быть однократно или m -кратно замкнута.

В сложных петлевых обмотках необходима установка уравнительных соединений не только первого, но и второго рода, соединяющих точки теоретически равного потенциала, принадлежащие разным простым обмоткам, объединенным в сложную.

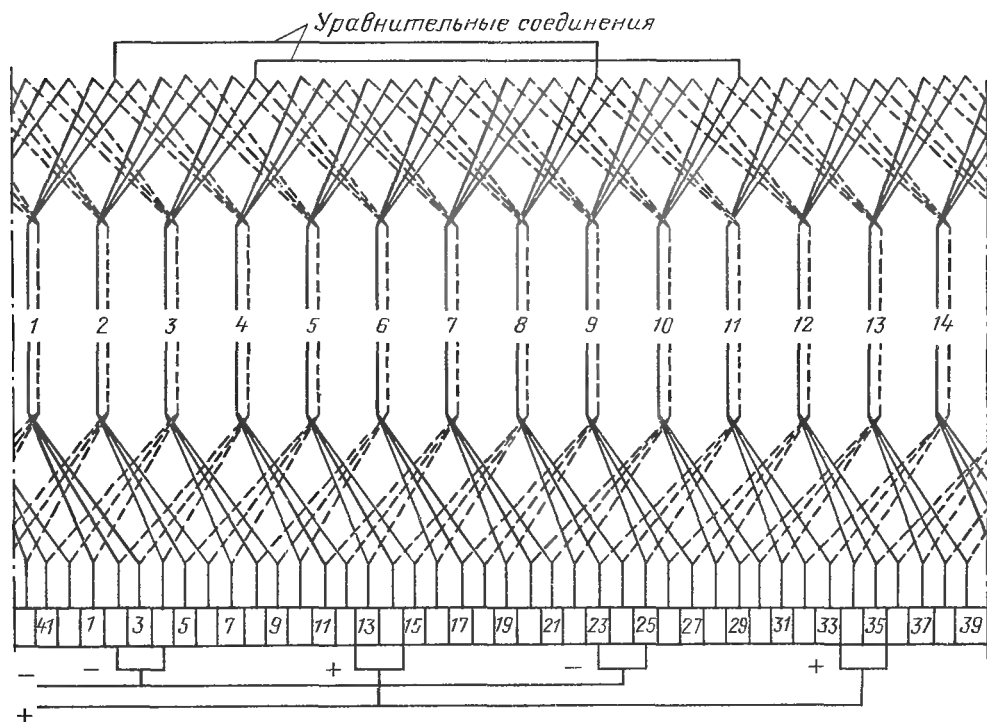


Рис. 4.27. Схема простой петлевой обмотки якоря, $z = 14$, $K = 42$, $u_n = 3$

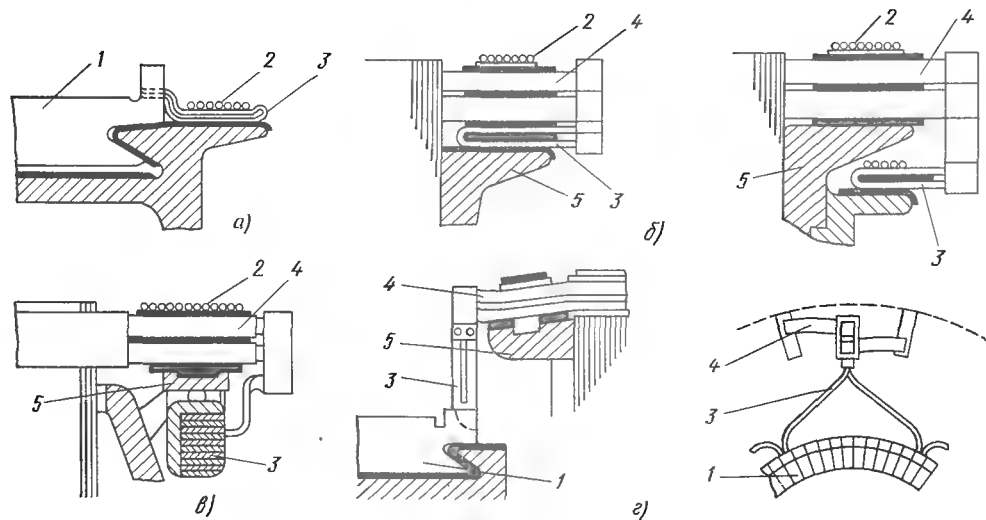


Рис. 4.28. Примеры конструктивного выполнения уравнительных соединений первого рода:
 а — вилочные со стороны коллектора; б — вилочные со стороны, противоположной коллектору; в — кольцевые; г — эвольвентные; 1 — пластины коллектора; 2 — бандаж уравнительных соединений; 3 — уравнительные соединения; 4 — лобовые части обмотки якоря; 5 — обмоткодержатель

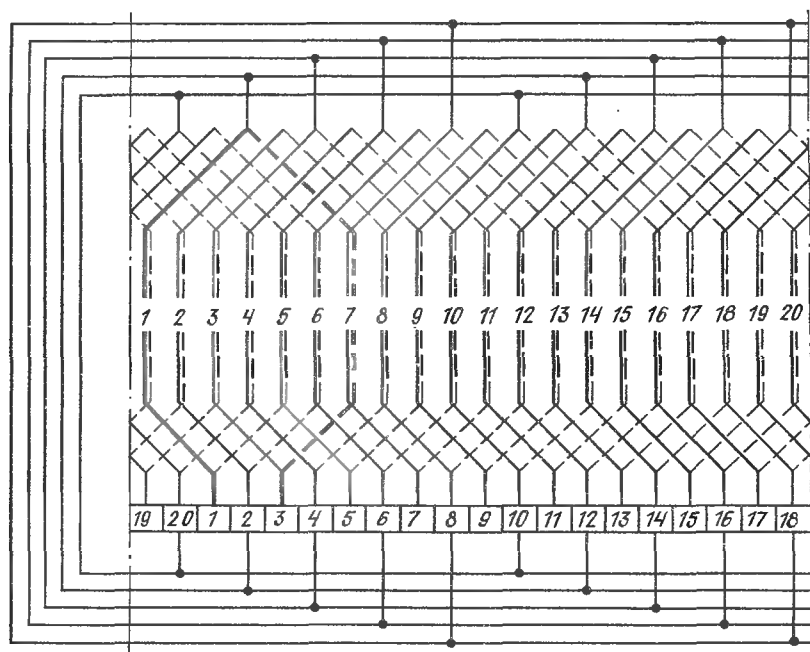


Рис. 4.29. Схема двухходовой петлевой обмотки якоря при K/p , равном четному числу ($\kappa = 20$, $2p = 4$), с уравнительными соединениями

В двукратнозамкнутых двухходовых ($m = 2$) петлевых обмотках при K/p , равном четному числу, точки теоретически равного потенциала располагаются с разных сторон якоря. На упрощенной схеме такой обмотки (рис. 4.29) уравнительные соединения второго рода показаны слева от схемы. В таких машинах уравнительные соединения второго рода необходимо пропускать под магнитопровод якоря вдоль вала или через втулку (рис. 4.30).

При K/p , равном нечетному числу, в двухходовых двукратнозамкнутых пет-

левых обмотках уравнительные соединения первого рода одновременно выполняют роль и уравнительных соединений второго рода, так как они соединяют секции разных простых обмоток (рис. 4.31). На приведенном рисунке две секции, соединенные уравнительными соединениями, выделены утолщенными линиями. То же самое относится к двухходовым однократнозамкнутым петлевым обмоткам, так как в них всегда K/p равно целому числу.

4.7.3. Волновые обмотки якоря

В машинах с номинальным током якоря не более 500–600 А большее распространение получили волновые обмотки (рис. 4.32). В простых волновых обмотках $y = y_1 + y_2$ и $2a = 2$ независимо от числа полюсов машины. Достоинствами простых волновых обмоток являются отсутствие уравнительных соединений и возможность эксплуатации машины при неполном числе щеточных болтов. Последняя особенность обмотки используется например, в ряде тяговых двигателей в связи с ограниченным пространством для размещения полного комплекта ($2p$) щеточных болтов.

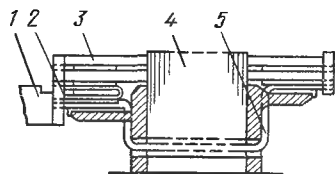


Рис. 4.30. Расположение уравнительных соединений второго рода на якоре:

1 — коллектор; 2 — уравнительные соединения первого рода; 3 — обмотка якоря; 4 — магнитопровод якоря; 5 — уравнительные соединения второго рода

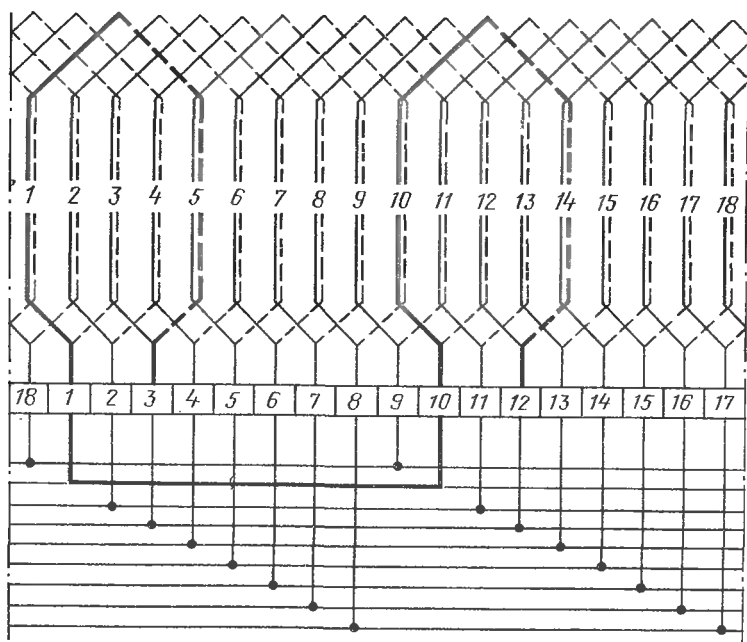


Рис. 4.31. Схема двухходовой петлевой обмотки якоря при K/p , равном четному числу, с уравнительными соединениями

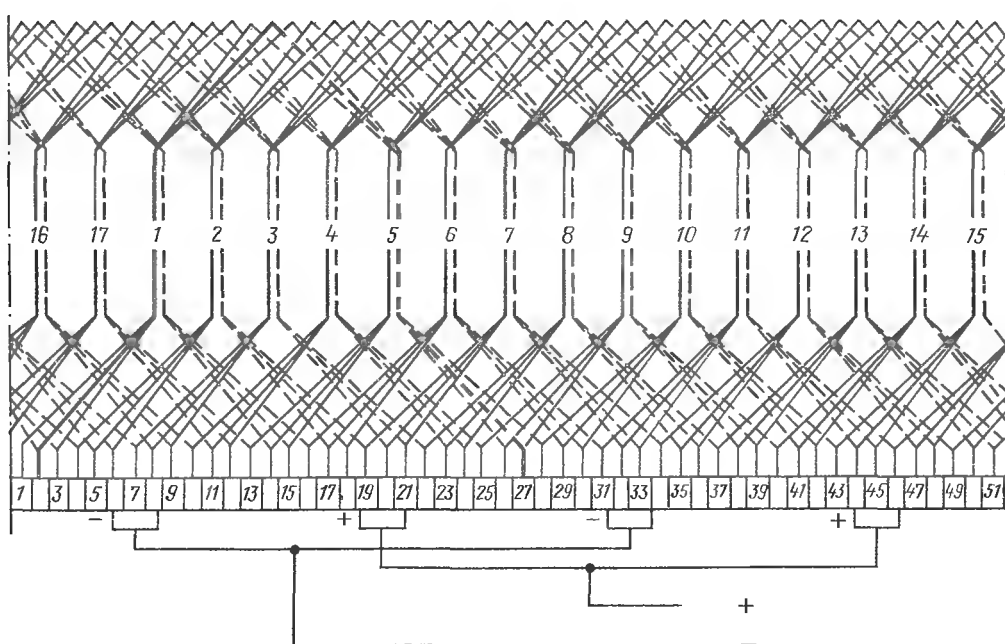


Рис. 4.32. Схема простой волновой обмотки якоря, $z = 17$, $K = 51$, $u_n = 3$

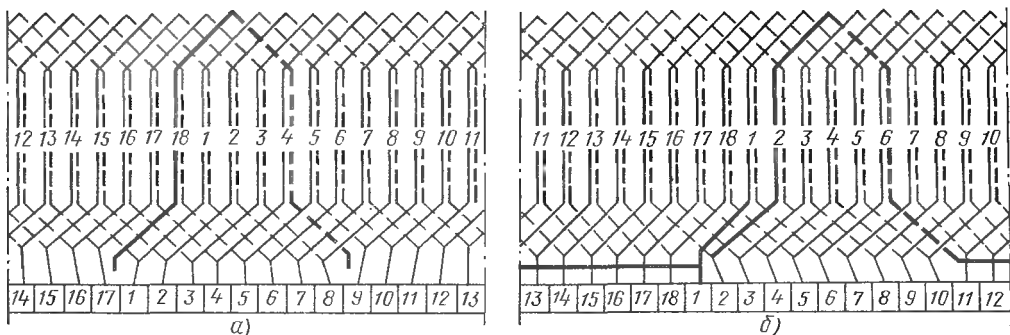


Рис. 4.33. Схемы волновых несимметричных обмоток якорей:

а — обмотка с «мертвой» секцией, $z = 18$, $K = 17$, $2p = 4$; б — искусственно замкнутая обмотка, $z = 18$, $K = 18$, $2p = 4$

Шаг по коллектору простой волновой обмотки (рис. 4.32) равен $y_k = (K \mp 1)/p$ (при знаке «+» обмотка получается с перекрещивающимися лобовыми частями, поэтому знак «-» в формуле стоит как основной). Если y_k не равен целому числу, то обмотка не может быть выполнена симметричной. В отдельных машинах, например в широко распространенных машинах с $2p = 4$, при четном z или четном u_n иногда выполняют несимметричную волновую обмотку с «мертвой» секцией (рис. 4.33, а). Коллектор такой

машины содержит на одну пластину меньше, чем число элементарных пазов или число всех секций в обмотке. При $K > 100$ несимметрия в таких машинах практически не сказывается.

При y_k не равном целому числу, возможно также применение искусственно замкнутой волновой обмотки (рис. 4.33, б), в которой число секций на единицу больше чисел z и K . Секция этой обмотки, для которой «нет места» в пазах якоря, вырождается в соединительный проводник, замыкающий ко-

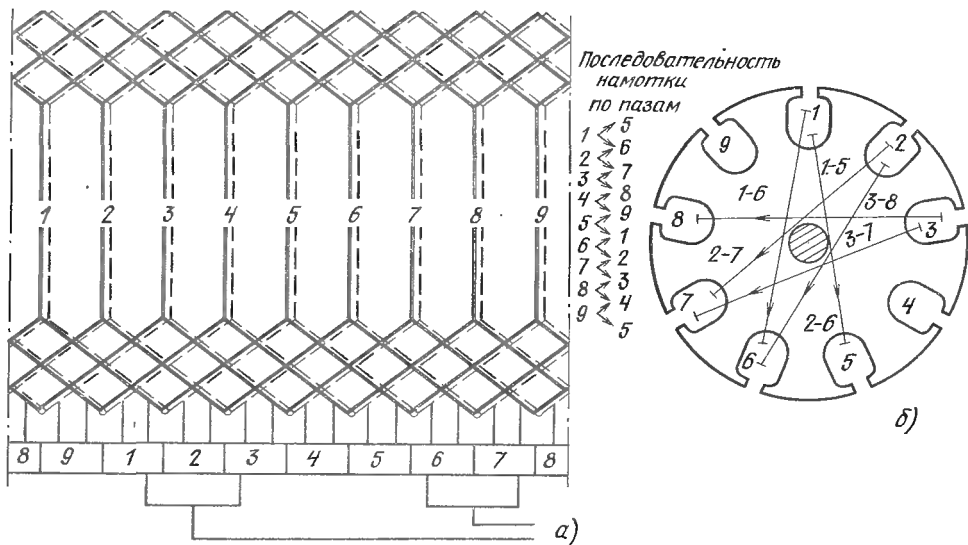


Рис. 4.34. Схема и последовательность укладки двухходовой обмотки якоря, $z = 9$, $2p = 2$, $K = 9$:

а — схема обмотки; б — последовательность укладки витков в пазы якоря

нец последней секции с началом первой секции обмотки.

В машинах специальных назначений находят применение сложные волновые обмотки с $m > 1$. Для них $y_k = (K \mp m)/2p$. Число параллельных ветвей сложной волновой обмотки $2a = 2m$. В них так же как и в сложных петлевых обмотках, необходима установка уравнительных соединений второго рода.

В ряде машин средней мощности для снижения тока в параллельных ветвях и во избежание необходимости установки уравнительных соединений применяют комбинированную, так называемую лягушачью обмотку, катушки которой состоят из секций волновой и петлевой обмоток и с каждой пластиной коллектора соединены секции как петлевой, так и волновой обмотки.

Таким образом, в пазах якоря размещаются как бы две самостоятельные обмотки — волновая и петлевая. Число параллельных ветвей этих обмоток должно быть одинаковым, поэтому волновая обмотка должна быть сложной. Число параллельных ветвей лягушачьей обмотки в 2 раза больше, чем петлевой для данной машины.

Уравнительные соединения в комбинированных обмотках не требуются, так как секции волновой обмотки играют роль уравнительных соединений для петлевой обмотки, а секции петлевой — уравнительных соединений сложной волновой. Благодаря этому лягушачья обмотка нашла распространение несмотря на технологическую сложность изготовления ее катушек.

Укладка обычных двухслойных обмоток якорей не может быть механизирована из-за необходимости подъема шага на заключительной стадии этой операции. Поэтому в якорях, предназначенных для механизированной укладки, применяют несколько измененные схемы, например двуххордовую обмотку (рис. 4.34).

4.8. Компенсационные обмотки машин постоянного тока

Компенсационные обмотки применяют для компенсации действия реакции якоря в машинах большой мощности. Обмотка выполняется из прямоугольного провода. Катушки укладываются в пазы, выштампованные в полюсных наконечниках, так, что одна сторона катушки располагается в пазах наконечника одного полюса, другая — в пазах наконечника другого. Компенсационная обмотка в большинстве машин однослойная,

выполненная концентрическими катушками, соединенными последовательно с обмоткой дополнительных полюсов (рис. 4.35).

В последние годы появилась тенденция устанавливать компенсационные обмотки и в машинах средней мощности. Это позволяет уменьшить воздушный зазор машины, что приводит к возможности уменьшения ее габаритов из-за снижения требуемой МДС обмотки возбуждения.

4.9. Обозначение выводов обмоток машин постоянного тока

ГОСТ 26772-85 устанавливает две различные системы обозначений выводов обмоток машин постоянного тока: для машин, разработанных после введения этого ГОСТ (с 1.01.1987 г.), и для ранее разработанных и модернизируемых машин. Для ранее разработанных и модернизируемых машин постоянного тока сохраняется система обозначений, установленная ГОСТ 183-74 (табл. 4.9) и состоящая из букв русского алфавита и цифр.

Обозначение начала (цифра 1) и конца (цифра 2) каждой из обмоток должно соответствовать протеканию тока в направлении от начала к концу обмотки при правом вращении машины в двигательном режиме во всех обмотках, кроме размагничивающей на главных полюсах. Если в машине имеется несколько обмоток одного наименования, то их начала и концы после буквенных обозна-

Таблица 4.9. Буквенные и цифровые обозначения выводов обмоток электрических машин постоянного тока (по ГОСТ 183-74)

Наименование обмотки	Обозначение выводов	
	Начало	Конец
Обмотка якоря	<i>Я1</i>	<i>Я2</i>
Компенсационная	<i>К1</i>	<i>К2</i>
Обмотка добавочных полюсов	<i>Д1</i>	<i>Д2</i>
Последовательная	<i>С1</i>	<i>С2</i>
Независимая	<i>Н1</i>	<i>Н2</i>
Параллельная	<i>Ш1</i>	<i>Ш2</i>
Пусковая	<i>П1</i>	<i>П2</i>
Уравнительная (уравнильный провод)	<i>У1</i>	<i>У2</i>
Особого назначения	<i>О1, О3</i>	<i>О2, О4</i>

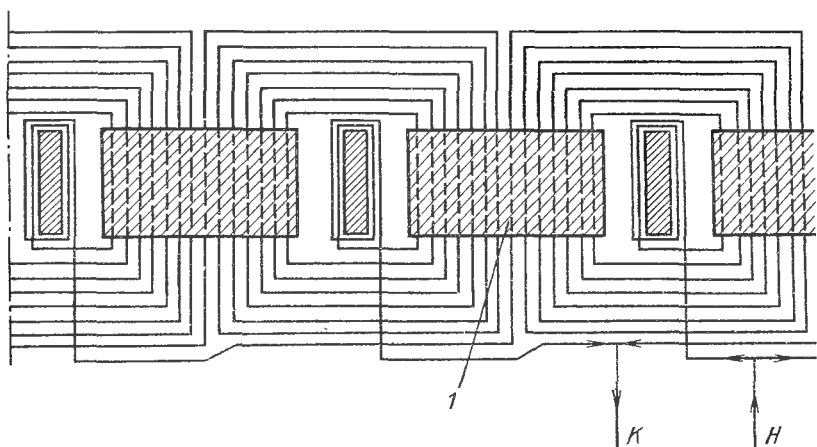


Рис. 4.35. Схема соединений компенсационной обмотки и обмотки до-
1 — главные полюсы; 2 — добавочные полюсы; 3 — обмотка добавочных полюсов;

Таблица 4.10. Буквенно-цифровые обозначения выводов обмоток машин постоянного тока (по ГОСТ 26772-85)

Наименование обмотки	Обозначение выводов	
	Начало	Конец
Обмотка якоря	<i>A1</i>	<i>A2</i>
Обмотка добавочного полюса	<i>B1</i>	<i>B2</i>
Двухсекционная добавочного полюса, присоединенная к якорю с обеих сторон, с четырьмя выводами	<i>1B1</i> <i>2B1</i>	<i>1B2</i> <i>2B2</i>
Компенсационная	<i>C1</i>	<i>C2</i>
Компенсационная, двухсекционная, присоединенная к якорю с обеих сторон, с четырьмя выводами	<i>1C1</i> <i>2C1</i>	<i>1C2</i> <i>2C2</i>
Последовательная обмотка возбуждения	<i>D1</i>	<i>D2</i>
Параллельная обмотка возбуждения	<i>E1</i>	<i>E2</i>
Независимая обмотка возбуждения	<i>F1</i>	<i>F2</i>
Независимая обмотка возбуждения с четырьмя выводами для последовательного и параллельного включения	<i>F1</i> <i>F5</i>	<i>F2</i> <i>F6</i>
Вспомогательная по продольной оси	<i>H1</i>	<i>H2</i>
Вспомогательная по поперечной оси	<i>J1</i>	<i>J2</i>

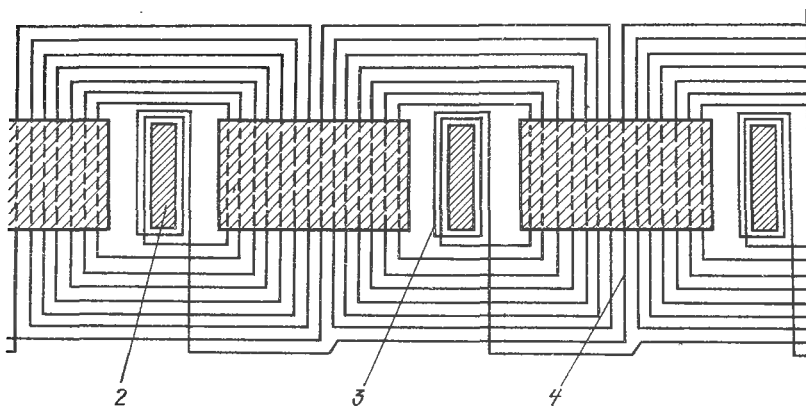
чений (*Ш*, *H* и т. п.) должны иметь цифровые обозначения, стоящие после соответствующих букв, например *Ш3—Ш4*; *Н3—Н4*; *С5—С6*.

Для вновь разрабатываемых машин установлены обозначения, состоящие из букв латинского алфавита и цифр (табл. 4.10), соответствующие СТ СЭВ 3170-81 и публикации МЭК 34-8. В этой системе цифры, стоящие после букв в обозначениях нескольких обмоток возбуждения, работающих по одной и той же оси, проставляются в такой последовательности, чтобы при протекании тока от зажимов с меньшим номером к зажимам с большим номером магнитные поля этих обмоток совпадали по направлению. В машинах со взаимосвязанными обмотками добавочных полюсов и компенсационной для обозначения вывода применяется буква *С*.

Обозначения внутренних присоединительных выводов указываются в скобках.

Для обозначений выводов обмоток машин постоянного тока малой мощности как ранее разработанных, модернизируемых, так и вновь разрабатываемых при диаметре корпуса не более 40 мм и при отсутствии места для буквенно-цифровых обозначений допускается цветное обозначение (табл. 4.11) проводами с разноцветной изоляцией, краской и т. п.

Обозначения наносятся непосредственно на концы обмоток (на кабельные наконечники, на шинные концы или специальные обжимы, плотно закрепленные на проводах). Навеска на выводные концы обмоток бирок с обозначениями не допускается.



бавочных полюсов, $2p = 6$, $a = 2$:

4 — компенсационная обмотка

Таблица 4.11. Цветовые обозначения выводов обмоток машин постоянного тока

Наименование обмотки	Цветовой код вывода		
	Начало	Конец	Дополнительный вывод
Обмотка якоря	Белый	Белый с черным	—
Последовательная обмотка возбуждения	Красный	Красный с черным	Красный с желтым
Вторая группа катушек последовательной обмотки возбуждения (при наличии двух групп или двух отдельных катушек)	Синий	Синий с черным	Синий с желтым
Параллельная обмотка возбуждения	Зеленый	Зеленый с черным	—
Вторая группа катушек параллельной обмотки возбуждения (при наличии двух групп или двух отдельных катушек)	Желтый	Желтый с черным	—

4.10. Обмотки возбуждения

4.10.1. Обмотки возбуждения синхронных машин

Обмотки возбуждения большинства машин общего назначения выполняются многувитковыми катушками, насаженными на сердечники полюсов. В синхронных явнополюсных машинах катушки возбуждения располагаются на роторе. Конструкция и способы крепления полюсов зависят от мощности машины и ее габаритов (рис. 4.36).

В машинах малой и средней мощности катушки наматывают изолированным круглым проводом, в машинах большой мощно-

сти — прямоугольным изолированным проводом. И те и другие катушки наматывают в несколько рядов с учетом размеров междуполосного пространства. При больших токах возбуждения катушки наматывают из неизолированной ленточной или шинной меди с установкой междувитковой изоляции.

В крупных явнополюсных машинах, например гидрогенераторах, обмотка возбуждения наматывается из неизолированной шинной меди специального профиля (рис. 4.37).

Обмотка возбуждения неявнополюсных синхронных машин, в частности турбогенераторов (рис. 4.38) и турбодвигателей, рас-

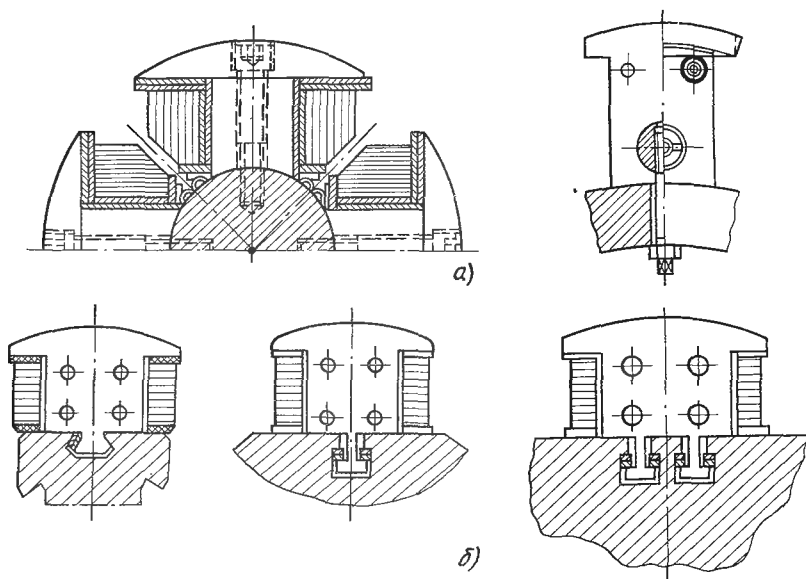


Рис. 4.36. Способы крепления полюсов ротора синхронных машин:
а — в машинах малой мощности; б — в машинах средней и большой мощности

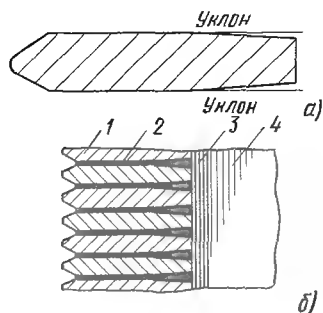


Рис. 4.37. Специальный профиль медных шин для катушек возбуждения гидрогенераторов:

а — поперечное сечение шины; б — расположение витков в катушке: 1 — витки в катушке; 2 — изоляция между витками; 3 — корпусная изоляция катушки; 4 — сердечник полюса

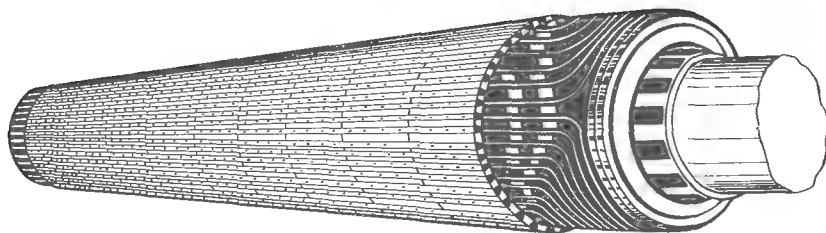


Рис. 4.38. Катушки возбуждения в пазах ротора турбогенератора типа ТВФ-150-2

предельная, состоит из нескольких концентрических катушек на каждый полюс, уложенных в пазы ротора и соединенных по-

следовательно в катушечные группы. Каждая катушечная группа образует обмотку одного полюса.

4.10.2. Обмотки возбуждения машин постоянного тока

Конструкция обмоток возбуждения машин постоянного тока определяется мощностью машины, схемой ее возбуждения и назначением обмоток: обмотки главных полюсов параллельного и последовательного возбуждения и дополнительных полюсов.

Обмотки параллельного возбуждения в большинстве машин наматываются из круглого изолированного провода и имеют много витков (рис. 4.39). В крупных машинах постоянного тока их наматывают из прямоугольного изолированного провода обычно в несколько рядов.

Для обмоток последовательного воз-

буждения и дополнительных полюсов круглый обмоточный провод используют лишь в машинах малой мощности с номинальным током, не превышающим 10—15 А. В машинах с большим номинальным током катушки наматывают из изолированного прямоугольного провода и в машинах большой мощности — из неизолированной шинной меди (рис. 4.40).

В машинах смешанного возбуждения или параллельного со стабилизирующей обмоткой катушки параллельного и последовательного возбуждения устанавливают на главных полюсах друг над другом. Часто многovitковую катушку параллельного возбуждения делят на две части (рис. 4.41) и располагают между ними катушку стабилизирующей обмотки.

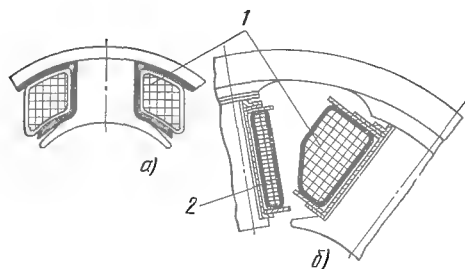


Рис. 4.39. Главные и добавочные полюсы с обмотками возбуждения машин постоянного тока:

a — в машинах малой мощности; *б* — в машинах средней мощности; 1 — обмотка параллельного возбуждения; 2 — обмотка добавочных полюсов

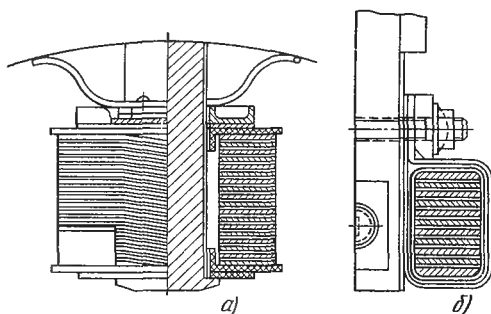


Рис. 4.40. Обмотки добавочных полюсов машин постоянного тока средней и большой мощности:

a — при большом числе витков в катушке; *б* — при малом числе витков в катушке

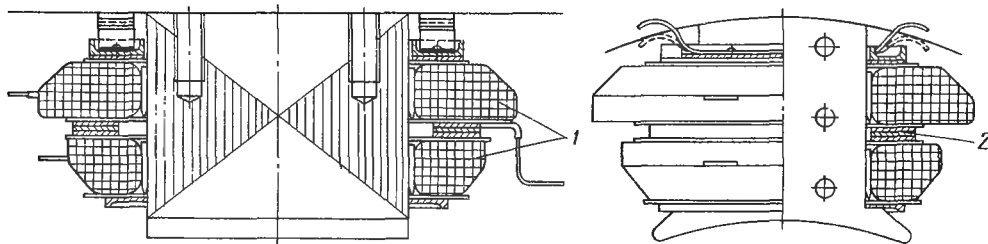


Рис. 4.41. Катушки возбуждения главных полюсов:

1 — обмотки параллельного возбуждения; 2 — обмотки последовательного возбуждения

РАЗДЕЛ 5

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

5.1. Виды промышленных испытаний

К каждому электротехническому изделию, выпускаемому промышленными предприятиями, предъявляются определенные требования, относящиеся к его рабочим характеристикам, энергетическим показателям, надежности, возможности использования изделия в тех или иных условиях, связанных с повышенной температурой или влажностью окружающей среды, ее загрязненностью пылью или агрессивными газами, и т. п. Общие технические требования к выпускаемым электрическим машинам установлены ГОСТ 183-74. Они распространяются на все виды вращающихся электрических машин постоянного и переменного тока любой мощности, напряжения и частоты за исключением машин, предназначенных для применения в бортовых системах подвижных средств всех видов транспорта. Технические требования к этим машинам, а также к ряду машин специального назначения, которые могут отличаться от общих требований, устанавливаются в ГОСТ или ТУ на эти виды машин.

Методы контроля и испытаний, позволяющие определить, соответствует ли данная машина предъявляемым к ней требованиям, также установлены ГОСТ, основные из которых перечислены в табл. 5.1. Они, так же как и технические требования к машинам, подразделяются на общие и отдельные для каждого из видов машин: асинхронных, синхронных, постоянного тока, преобразователей и др. Ряд стандартов устанавливает методы специфических испытаний, например оценки вибрации, определения расхода охлаждающего газа, испытаний на нагревание и др.

Число различных испытаний, которым должна подвергаться электрическая машина для того, чтобы выявить ее соответствие всем техническим требованиям, достаточно велико. В то же время серийно выпускаемые электрические машины незначительно отличаются друг от друга. Поэтому испытания готовых электрических машин подразделены на ряд видов, основными из которых являются приемочные, приемо-сдаточные, периодические и типовые. Программы испытаний каждого из видов различны.

Приемочные испытания проводятся по наиболее подробным программам, установленным стандартами или ТУ для данного вида машин. Их целью является проверка соответствия выпускаемых машин всем техническим требованиям. Приемочным испытаниям подвергаются головные образцы — первые промышленные образцы машин данного типа, выпущенные предприятием. Число образцов, которое необходимо взять для проведения приемочных испытаний, устанавливается в стандартах или ТУ на данный тип машин. Все последующие машины должны выпускаться предприятием без изменения конструкции, технологии или применяемых для изготовления материалов.

Типовые испытания проводят в тех случаях, если в конструкцию выпускаемых машин или в технологию их производства внесены изменения или если заменены материалы, из которых изготовлены детали

Таблица 5.1. Основные стандарты на методы испытаний электрических машин и на некоторые средства измерений, применяемые при испытаниях

Номер ГОСТ	Наименование ГОСТ
ГОСТ 11828-86	Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний
ГОСТ 7217-79	Электродвигатели трехфазные асинхронные. Методы испытаний
ГОСТ 10159-79	Машины электрические постоянного тока. Методы испытаний
ГОСТ 10169-77	Машины электрические трехфазные синхронные. Методы испытаний
ГОСТ 17691-80	Преобразователи частоты электромашинные мощностью 250 кВт и выше. Методы испытаний
ГОСТ 11929-87	Машины электрические вращающиеся. Методы определения уровня шума
ГОСТ 12259-75	Машины электрические. Методы определения расхода охлаждающего газа

Продолжение табл. 5.1

Номер ГОСТ	Наименование ГОСТ
ГОСТ [†] 12379-75	Машины электрические вращающиеся. Методы оценки вибрации
ГОСТ 20815-75	Машины электрические вращающиеся массой свыше 2000 кг. Вибрации. Допустимые значения и методы испытаний
ГОСТ 25941-83	Машины электрические вращающиеся. Методы определения потерь и коэффициента полезного действия
СТ СЭВ 295-76	Машины электрические вращающиеся. Методы определения момента инерции вращающейся части
СТ СЭВ 296-76	Машины электрические вращающиеся. Двигатели синхронные и асинхронные. Определение зависимости от времени превышения температуры при заторможенном роторе. Методы испытаний
СТ СЭВ 1107-78	Машины электрические вращающиеся. Методы определения сопротивления обмоток без отключения машины от сети
ГОСТ 2045-71	Термометры ртутные стеклянные. Технические требования
ГОСТ 13648-68	Термометры стеклянные ртутные для точных измерений. Технические условия
ГОСТ 9177-74	Термометры стеклянные жидкостные (нертутные). Общие технические условия
ГОСТ 3044-84	Преобразователи термомоэлектрические. Номинальные статические характеристики преобразования
ГОСТ 6616-74	Преобразователи термоэлектрические ГСП. Общие технические условия
ГОСТ 6651-84	Термопреобразователи сопротивления ГСП. Общие технические условия

машин, причем эти изменения могут повлиять на технические свойства или качество машин. Программа типовых испытаний обычно повторяет ряд пунктов приемочных, дающих возможность оценить конкретно те данные машины, на которые могли повлиять проведенные изменения. В программу могут быть также введены дополнительные испытания, отсутствующие в программе приемочных.

Приемо-сдаточным испытаниям подвергаются все машины, выпускаемые предприятием. Программа приемо-сдаточных испытаний формируется из отдельных пунктов программы приемочных таким образом, чтобы при минимальных затратах времени можно было установить соответствие конкретного экземпляра машины основным техническим требованиям.

Большую роль при оценке качества испытуемой машины играет сравнение результатов приемо-сдаточных испытаний с соответствующими показателями, полученными при приемочных испытаниях головных образцов машин данного типа. Программа приемо-сдаточных испытаний устанавливается стандартами, однако на ряде предприятий с целью повышения качества выпускаемых машин она расширяется, особенно при производстве электрических машин, предназначенных для ответственных приводов. На предприятиях с массовым производством машин небольшой мощности, например асинхронных, при механизации и автоматизации большинства технологических процессов оказывается возможным сократить программу приемо-сдаточных испытаний до минимума, гарантирующего качество выпускаемых машин. Проведение приемо-сдаточных испытаний на большинстве таких предприятий автоматизировано, что существенно сокращает время изготовления машины. В этих случаях приемо-сдаточные испытания по полной программе проводятся на выборочных экземплярах машин.

Периодические испытания проводят в определенные сроки, которые устанавливаются в стандартах или ТУ на данные типы машин для проверки качества машин, выпускаемых серийно. Программы этих испытаний значительно шире приемо-сдаточных программ и приближаются к программам приемочных испытаний. Сроки проведения периодических испытаний могут быть сокращены, если результаты приемо-сдаточных испытаний покажут, что качество выпускаемых машин ухудшается по сравнению с данными приемочных испытаний. В этих случаях программа периодических испыта-

ний составляется таким образом, чтобы могли быть выявлены причины этого ухудшения.

Помимо основных регламентированных стандартами видов испытаний электрических машин существуют также некоторые другие виды. К ним относятся следующие.

Классификационные испытания — испытания, проводимые по программам присомочных или в несколько сокращенном виде. Им подвергаются отобранные образцы из установочной серии или из первой промышленной партии конкретных машин с целью проверки, насколько данное предприятие готово к выпуску машин этого типа в заданном объеме.

Аттестационные испытания — испытания, проводимые для оценки уровня качества выпускаемой продукции при ее аттестации.

Для проведения квалификационных и аттестационных испытаний назначаются специальные комиссии, члены которых принимают непосредственное участие в испытаниях совместно с персоналом испытательных станций предприятия.

К этим же категориям испытаний могут быть отнесены испытания крупных единичных машин, выпуск которых повторяется лишь через длительные промежутки времени, достигающие в отдельных случаях нескольких лет. За это время при неизменной конструкции самой электрической машины могли произойти изменения в технологии производства ее деталей, в качестве исходных материалов или комплектующих изделий. Эти изменения могут отразиться на свойствах машины. Поэтому данных испытаний, проводимых только по программе присомочных, оказывается недостаточно и испытания расширяются рядом пунктов из программы присомочных испытаний.

Специальные испытания электрических машин проводят в тех случаях, когда требования стандартов или ТУ на данные машины выходят за пределы требований общих стандартов. Программы специальных испытаний формируются с учетом специфических требований на этот тип машин и являются дополнительными к программе присомочных испытаний, установленной общим стандартом.

Целью перечисленных видов испытаний в конечном счете является контроль за качеством выпускаемой продукции, ее соответствием требованиям стандартов и ТУ.

Контроль за техническим состоянием электрических машин, находящихся в экс-

плуатации, осуществляется проведением эксплуатационных испытаний.

Исходными данными для совершенствования конструкций электрических машин, методов их расчета, для проектирования новых серий машин и технологических процессов их изготовления, а также совершенствования систем вентиляции, способов охлаждения и т. п. являются результаты *исследовательских испытаний*, которые проводятся либо на серийных машинах с отдельными внесенными конструктивными изменениями, либо на опытных образцах машин новой конструкции. Программы исследовательских испытаний, а также методы проведения исследований стандартами не регламентированы и сугубо индивидуальны.

5.2. Программы присомочных и присомо-сдаточных испытаний

Программы присомочных и присомо-сдаточных испытаний электрических машин установлены ГОСТ 183-74. Они различны для каждого типа машин (постоянного тока, асинхронные, синхронные), их назначения (двигатели, генераторы, компенсаторы), конструкции и ряда других факторов.

Присомочные и присомо-сдаточные испытания машин специальных назначений, требования к которым отличаются от определенных ГОСТ 183-74, дополняются специальными испытаниями, программы которых учитывают специфические требования стандартов или ТУ на эти типы машин.

Программа присомочных испытаний асинхронных двигателей (по ГОСТ 183-74):

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками.

2. Измерение сопротивления обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии.

3. Определение коэффициента трансформации (для двигателей с фазным ротором).

4. Испытание изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками на электрическую прочность.

5. Испытание межфазитковой изоляции обмоток на электрическую прочность.

6. Определение тока и потерь холостого хода.

7. Определение тока и потерь короткого замыкания.

8. Испытание при повышенной частоте вращения.

9. Испытание на нагревание.

10. Определение КПД, коэффициента мощности и скольжения.

11. Испытание на кратковременную перегрузку по току.

12. Определение максимального вращающего момента.

13. Определение минимального вращающего момента в процессе пуска (для двигателей с короткозамкнутым ротором).

14. Определение начального пускового вращающего момента и начального пускового тока (для двигателей с короткозамкнутым ротором).

15. Измерение вибрации.

16. Измерение уровня шума.

В программу прямо-сдаточных испытаний асинхронных двигателей включены пп. 1—7 программы приемочных испытаний. При массовом производстве асинхронных двигателей испытания по пп. 1, 2 и 7 программы разрешается проводить выборочно. Количество отобранных для этих испытаний двигателей устанавливается в стандартах или в ТУ на конкретные виды машин.

Программа приемочных испытаний синхронных генераторов, двигателей и компенсаторов (по ГОСТ 183-74):

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками.

2. Измерение сопротивления обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии.

3. Испытание при повышенной частоте вращения.

4. Испытание изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками на электрическую прочность.

5. Испытание междувитковой изоляции обмоток переменного тока на электрическую прочность.

6. Определение характеристики холостого хода.

7. Определение характеристики установленного трехфазного короткого замыкания (трехфазных машин) или однофазного короткого замыкания (однофазных машин).

8. Определение тока третьей гармонической, если машина предназначена для работы при соединении обмотки статора в треугольник.

9. Измерение тока возбуждения в режиме ненагруженного перевозбужденного двигателя при номинальном напряжении и номинальном токе статора (якоря) и определение U-образной характеристики (для машин частотой 50 Гц и мощностью не более 1000 кВт·А).

10. Определение номинального тока

возбуждения, номинального изменения напряжения и регулировочной характеристики.

11. Испытание на кратковременную перегрузку по току.

12. Определение КПД.

13. Испытание на нагревание.

14. Испытание механической прочности при ударном токе короткого замыкания (для машин каждой серии данного предприятия это испытание следует проводить на машинах с наибольшим полюсным делением).

15. Определение коэффициента искажения синусоидальности кривой линейного напряжения.

16. Опытное определение индуктивных сопротивлений и постоянных времени обмоток (для машин мощностью свыше 100 кВт·А).

17. Испытание электромашинного возбудителя по программе типовых испытаний машин постоянного тока.

18. Определение скорости нарастания напряжения возбудителя для синхронного генератора и синхронного компенсатора (для машин мощностью свыше 3000 кВт·А). Для машин мощностью 3000 кВт·А и менее это испытание проводят при наличии указаний в стандартах или технических условиях на эти машины.

19. Определение начального пускового, минимального и входного вращающих моментов, начального пускового тока синхронных двигателей и начального пускового тока синхронных компенсаторов, не имеющих пусковых двигателей.

20. Проверка состояния уплотнений и определение утечки водорода (для машин с водородным охлаждением).

21. Измерение вибрации.

22. Измерение уровня шума.

При прямо-сдаточных испытаниях синхронных машин выполняются пп. 1—7, 17 и 20 программы приемочных испытаний.

Программа приемочных испытаний машин постоянного тока (генераторов, двигателей, возбудителей) (по ГОСТ 183-74):

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками.

2. Измерение сопротивления обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии.

3. Испытание при повышенной частоте вращения.

4. Испытание изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками на электрическую прочность.

5. Испытание междувитковой изоляции обмоток на электрическую прочность.

6. Определение тока возбуждения генератора или частоты вращения двигателя при холостом ходе (для двигателей с последовательным возбуждением опыт проводят при независимом возбуждении).

7. Проверка коммутации при номинальной нагрузке и кратковременной перегрузке по току.

8. Определение характеристики холостого хода.

9. Определение рабочей (скоростной) характеристики (для двигателей).

10. Определение внешней характеристики (для генераторов).

11. Определение регулировочной характеристики (для генераторов и двигателей).

12. Испытание на нагревание.

13. Определение области безыскровой работы (для машин с добавочными полюсами) и проверка коммутации.

14. Определение КПД.

15. Измерение вибрации.

16. Измерение биения коллектора (если это установлено в стандартах на отдельные виды машины).

17. Измерение радиопомех.

18. Измерение уровня шума.

При прямо-сдаточных испытаниях машин постоянного тока выполняются пп. 1—7 программы приемочных испытаний и проверяются номинальные данные машины.

Рядом стандартов и ТУ на конкретные виды машин измерение уровня шума и вибрации отнесено к прямо-сдаточным испытаниям причем измерение вибрации допускается проводить выборочно.

5.3. Нормы и методы испытаний новых машин

5.3.1. Измерение сопротивления изоляции

Сопротивление изоляции характеризует ее состояние в данный момент времени и не является стабильным, так как зависит от целого ряда факторов, основными из которых являются температура и влажность изоляции в момент проведения измерения.

В ГОСТ 183-74 нормы сопротивления изоляции не определены, так как абсолютных критериев минимально допустимого сопротивления изоляции не существует. Они могут быть установлены в стандартах на конкретные виды машин или в ТУ с обязательным указанием температуры, при которой должны проводиться измерения, и методов пересчета показаний приборов, если измерения проводились при иной температуре обмоток.

Измерение сопротивления изоляции обмоток преследует цель установить возможность проведения ее испытаний высоким напряжением без повышенного риска повреждения хорошей, но имеющей большую влажность изоляции.

Измерения проводятся мегаомметром, номинальное напряжение которого выбирается в зависимости от номинального напряжения обмотки. Для обмоток с номинальным напряжением до 500 В (660) В применяют мегаомметры на 500 В, для обмоток с напряжением до 3000 В — мегаомметры на 1000 В, для обмоток с номинальным напряжением 3000 В и более — мегаомметры на 2500 В и выше.

Степень увлажнения изоляции определяется не только по показаниям прибора в момент отсчета, но и характером изменения показаний мегаомметра в процессе измерения, которое проводят в течение 1 мин. Запись показаний прибора делают через 15 с после начала измерения (R_{15}) и в конце измерения — через 60 с после начала (R_{60}). Отношение этих показаний $k_{a6} = R_{60}/R_{15}$ называют коэффициентом абсорбции. Его значение определяется отношением тока поляризации к току утечки через диэлектрик — изоляцию обмотки. При влажной изоляции коэффициент абсорбции близок к 1. При сухой изоляции R_{60} на 30—50 % больше, чем R_{15} , и $k_{a6} \geq 1,3$.

Мегаомметром измеряется также сопротивление изоляции термопреобразователей, заложенных в машины, и проводов, соединяющих термопреобразователи с доской выводов.

Сопротивление этой изоляции измеряется по отношению к корпусу и к обмоткам машины. Она не рассчитана на работу при высоких напряжениях, поэтому измерение ее сопротивления должно проводиться прибором с номинальным напряжением не выше 250 В.

Помимо сопротивления изоляции обмоток при проведении испытаний на месте установки машины измеряют также сопротивление изоляции подшипников, которая устанавливается для предотвращения протекания подшипниковых токов в машинах со стояковыми подшипниками.

Таким образом, сопротивление изоляции разных обмоток одной и той же машины, имеющих разное номинальное напряжение, например обмоток статора и ротора синхронного двигателя, нужно измерять разными мегаомметрами с различными номинальными напряжениями.

5.3.2. Измерение сопротивления обмоток при постоянном токе

Сопротивление обмоток при постоянном токе относится к важным параметрам машины и не должно существенно отличаться от расчетных значений. Однако по результатам измерений сопротивления нельзя судить о правильности и качестве выполнения работ. Это связано прежде всего с технологическими допусками на размеры катушек обмотки и с допусками на сопротивление обмоточного провода, существенно влияющими на результаты измерений.

Возможность качественной оценки дает сравнение результатов измерения сопротивления обмотки с расчетными (каталожными) данными и с данными, полученными для других однотипных машин. Часто практикуется сравнение результатов измерений сопротивлений отдельных одинаковых элементов обмотки одной машины, например фаз трехфазной обмотки, содержащих одинаковые катушки, или однотипных катушек возбуждения. Так как эти элементы выполняются из одной и той же партии обмоточного провода и на одних и тех же шаблонах, то расхождение в результатах измерений более чем на 2–3% может служить показателем неисправности обмотки — неправильно выполненных соединений в схеме, наличия замкнутых витков в катушке и т. п.

Способы измерения сопротивления должны обеспечивать высокую точность (до 0,4% при приемочных испытаниях) и быстроту выполнения измерений, что особенно важно при приемо-сдаточных испытаниях.

Для измерений сопротивлений более 1 Ом могут применяться обыкновенные (одинарные) измерительные мосты, а при меньших сопротивлениях — двойные мосты, исключаящие влияние соединительных проводников и контактов. Более универсальным способом измерений является метод вольтметра и амперметра, который при правильно выбранных приборах, схеме и методике измерений обеспечивает необходимую точность и быстроту проведения испытания.

Для измерения сопротивления обмоток машин во время приемо-сдаточных испытаний при массовом выпуске используют стрелочные или цифровые омметры, обеспечивающие быстроту измерений при минимальном количестве необходимых соединений. Однако этот способ имеет малую точность, поэтому его не применяют для машин с небольшими сопротивлениями обмоток.

5.3.3. Испытание изоляции обмоток на электрическую прочность

Испытание изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками на электрическую прочность проводится на всех машинах при приемочных и приемо-сдаточных испытаниях.

ГОСТ 183-74 устанавливает, что изоляция полностью собранной на заводе-изготовителе машины или ее отдельных частей, а также машин, обмотка которых полностью или частично уложена на месте установки машин, должна выдерживать испытательное напряжение частотой 50 Гц в течение 1 мин.

Нормы испытательных напряжений при приемочных и приемо-сдаточных испытаниях приведены в табл. 5.2.

Для турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных конденсаторов обязательным является также испытание изоляции после сборки машины на месте установки. Оно проводится испытательным напряжением, равным 80% указанного в табл. 5.2. Эти испытания не проводятся, если обмотка полностью или частично укладывалась на месте установки машины и была соответственно испытана 100%-ным испытательным напряжением.

Испытанию подвергается изоляция каждой независимой цепи машины. Все другие обмотки на это время соединяются с корпусом и заземляются. В машинах переменного тока независимыми цепями считают все обмотки, начала и концы которых имеют выводы. В машинах постоянного тока обмотку якоря, соединенные с ней обмотки дополнительных полюсов и компенсационную обычно принимают за одну цепь, а различные обмотки главных полюсов — за независимые цепи.

Если испытательное напряжение обмотки равно или более 3000 В, то оно не должно прикладываться мгновенно. Испытание начинается не более чем с 50%-ного значения полного испытательного напряжения и повышается до полного значения плавно или ступенями, не превышающими каждая 5% этого значения, таким образом, чтобы все время подъема напряжения было не менее 10 с. После выдержки полного испытательного напряжения в течение 1 мин оно должно быть снижено до половинного значения и лишь после этого отключено.

Для машин мощностью до 15 кВт включительно на номинальное напряжение до 660 В при их массовом выпуске на автоматизированном и механизированном технологическом оборудовании испытание элек-

Таблица 5.2. Испытательные напряжения обмоток электрических машин

№ п/п.	Электрическая машина или ее части	Испытательное напряжение (действующее значение)
1	Машины мощностью менее 1 кВт (или 1 кВт·А) на номинальное напряжение ниже 100 В, за исключением указанных в пп. 4—8 настоящей таблицы	500 В плюс 2-кратное номинальное напряжение
2	Машины мощностью от 1 кВт (или 1 кВт·А) и выше на номинальное напряжение ниже 100 В, за исключением указанных в п. 4	1000 В плюс 2-кратное номинальное напряжение
3	Машины: а) мощностью до 1000 кВт (или 1000 кВт·А), за исключением перечисленных в пп. 1, 2 и 4—8 б) мощностью от 1000 кВт (или 1000 кВт·А) и выше, за исключением указанных в пп. 4—8 на номинальное напряжение: до 3300 В свыше 3300 до 6600 В свыше 6600 до 17 000 В свыше 17 000 В	1000 В плюс 2-кратное номинальное напряжение, но не менее 1500 В 1000 В плюс 2-кратное номинальное напряжение 2,5-кратное номинальное напряжение 3000 В плюс 2-кратное номинальное напряжение По согласованию между изготовителями и потребителем
4	Обмотки возбуждения машин постоянного тока с независимым возбуждением	1000 В плюс 2-кратное номинальное напряжение возбуждения, но не менее 1500 В
5	Обмотки возбуждения синхронных машин: а) генераторов, двигателей и компенсаторов, пускаемых специальными пусковыми двигателями б) машин, предназначенных для непосредственного пуска с обмоткой возбуждения, замкнутой на сопротивление, не превышающей 10-кратного сопротивления обмотки возбуждения при постоянном токе, или на источник своего питания в) машин, предназначенных для пуска с обмоткой возбуждения, замкнутой на сопротивление, значение которого равно 10-кратному сопротивлению обмотки или более него, или с разомкнутой обмоткой возбуждения независимо от того, секционирована она или нет	10-кратное номинальное напряжение возбуждения электрической машины, но не менее 1500 В и не более 3500 В 10-кратное номинальное напряжение возбуждения электрической машины, но не менее 1500 В и не более 3500 В 1000 В плюс 2-кратное максимальное действующее значение напряжения, которое можно получить при данных пусковых условиях между выводами обмотки возбуждения (между выводами любой секции), но не менее 1500 В (см. примечание 3)
6	Вторичные обмотки асинхронных двигателей, не находящиеся непрерывно в короткозамкнутом состоянии: а) для двигателей, допускающих торможение противовключением б) для двигателей, не предназначенных для торможения противовключением	1000 В плюс четырехкратное номинальное напряжение вторичной обмотки 1000 В плюс двукратное номинальное напряжение вторичной обмотки

Продолжение табл. 5.2

№ п/п.	Электрическая машина или ее части	Испытательное напряжение (действующее значение)
7	Возбудители (за исключением указанных ниже) Возбудители для синхронных двигателей (к ним относятся и синхронизированные асинхронные двигатели), если во время пуска они заземлены или отключены от обмоток возбуждения. Обмотки возбуждения возбудителей с независимым возбуждением	Как для обмоток, к которым присоединяются возбудители 1000 В плюс двукратное номинальное напряжение возбудителя, но не менее 1500 В
8	Собранные в группы электрические машины и аппараты	Если испытанию подвергается группа, собранная из нескольких новых только что установленных и соединенных вместе электрических машин и аппаратов, из которых каждая машина и каждый аппарат проходили испытания на электрическую прочность, то испытательное напряжение не должно превышать 85% испытательного напряжения той машины (или того аппарата), у которой (которого) это напряжение наименьшее

Примечания: 1. Испытательное напряжение для машин с разными уровнями изоляции определяется по согласованию между изготовителем и потребителем.

2. Для двухфазных обмоток, имеющих общий вывод, номинальное напряжение, по которому определяется испытательное напряжение, следует брать равным 1,4 напряжения отдельной фазы.

3. Напряжение, получаемое при пусковых условиях между выводами обмоток возбуждения или между выводами секций, можно измерить при пониженном напряжении питания. Измеренное таким образом напряжение следует умножить на отношение напряжения, полученного при пусковых условиях, к пониженному напряжению питания.

4. Для обмоток одной или нескольких машин, которые связаны электрически, рассматриваемое напряжение — максимальное по отношению к земле.

трической прочности изоляции допускается проводить, прикладывая испытательное напряжение в течение 1 с. При этом оно должно быть увеличено на 20% по сравнению с указанным в табл. 5.2. Проведение приемо-сдаточных испытаний таких машин на большинстве заводов автоматизировано.

5.3.4. Испытание междувитковой изоляции обмоток

ГОСТ 183-74 устанавливает, что междувитковая изоляция обмоток электрических машин должна быть испытана напряжением, превышающим номинальное на 30%, в течение 3 мин. Повышение междувиткового напряжения достигается соответствующим увеличением напряжения на выводах обмотки при холостом ходе машины.

В асинхронных машинах, ток холостого хода которых при повышении напряжения в 1,3 раза превышает номинальный, например в двигателях с большим насыщением

стали магнитопровода, длительность испытаний может быть сокращена до 1 мин. Испытание может быть проведено также при питании статора током повышенной частоты. Частота тока по сравнению с номинальной может быть повышена не более чем на 15%. Междувитковая изоляция обмоток статора и ротора асинхронных двигателей с фазными роторами испытывается одновременно при неподвижном (заторможенном) и разомкнутом роторе.

Междувитковая изоляция синхронных машин (кроме турбогенераторов и гидрогенераторов) также испытывается напряжением, на 30% повышенным по сравнению с номинальным. В машинах, напряжение которых в генераторном режиме при номинальном токе возбуждения превышает номинальное более чем на 30%, испытание проводят при напряжении холостого хода, соответствующем номинальному току возбуждения.

Междувитковая изоляция обмоток гид-

рогенераторов испытывается напряжением на 50%, а турбогенераторов — на 30% выше номинального в течение 5 мин. Если указанное повышение напряжения генераторов не может быть достигнуто увеличением их тока возбуждения до номинального, то разрешено одновременно увеличивать частоту вращения машин, но не более чем на 15% сверх номинальной.

Междувитковая изоляция обмоток индукторов, питающихся постоянным током, в собранной машине не испытывается. Ее испытания проводят до сборки, при пооперационном контроле.

Испытательные напряжения междувитковой изоляции обмоток якорей машин постоянного тока не зависят от номинального напряжения и определяются из расчета среднего напряжения между соседними коллекторными пластинами, которое не должно превышать 24 В. Для электромашинных возбуждителей, рассчитанных на фокусировку возбуждения, при которой напряжение может превышать 130% номинального, испытание проводят при предельном напряжении форсировки, но время испытаний сокращается до 1 мин.

В последние годы для испытаний электрической прочности междувитковой изоляции все большее распространение получают устройства, основанные на принципе использования высокой частоты или импульсного напряжения. ГОСТ разрешает использовать эти устройства для испытаний междувитковой изоляции катушечных обмоток машин с номинальным напряжением не свыше 660 В.

5.3.5. Испытание на кратковременную перегрузку по току

Программы приемочных испытаний всех типов машин содержат испытание на кратковременную перегрузку по току. Кратность тока перегрузки по отношению к номинальному и время испытаний при данном токе определяются видом машин.

Коллекторные машины постоянного и переменного тока испытываются в течение 1 мин на кратковременную перегрузку по току, на 50% превышающему номинальный, а возбуждители — с отношением предельного возбуждения более 1,6 — на 2-кратную по отношению к номинальному току возбуждения возбуждаемой машины.

Бесколлекторные машины переменного тока мощностью 0,55 кВт и выше, включая турбо- и гидрогенераторы с косвенным охлаждением обмоток, испытываются на

перегрузку по току, на 50% превышающему номинальный, в течение 2 мин, а с непосредственным охлаждением обмоток — в течение 1 мин.

Машины, номинальным режимом которых является повторно-кратковременный или перемежающийся с периодом работы меньшим, чем 1 мин, на кратковременную перегрузку по току не испытываются.

Нормы и продолжительность испытаний на кратковременную перегрузку по току машин малой мощности и специального исполнения устанавливаются в стандартах или технических условиях на конкретные виды машин. Они могут существенно отличаться от приведенных выше.

5.3.6. Испытания при повышенной частоте вращения

Испытания при повышенной частоте вращения проводятся для всех видов машин. Их целью является проверка механической прочности вращающихся частей. Все электрические машины, кроме коллекторных и ряда машин специального исполнения, должны без повреждений и остаточных деформаций выдерживать в течение 2 мин повышение частоты вращения на 20% сверх номинальной, причем двигатели с регулированием частоты — на 20% сверх наибольшей, двигатели с последовательным возбуждением постоянного и переменного тока — на 20% сверх наибольшей, указанной на паспортной табличке, но не менее чем на 50% сверх номинальной. Те же нормы применимы к двигателям со смешанным возбуждением, если в них предусматривается регулирование частоты вращения в пределах не свыше 35% сверх номинальной.

Машины специальных назначений, в том числе гидрогенераторы, металлургические и крановые, двигатели подвижного состава и др., испытываются на повышенную частоту вращения в соответствии с требованиями стандартов или ТУ.

При проведении испытаний на повышенную частоту вращения для безопасности персонала запрещается использование ручных тахометров. Измерения частоты должны быть дистанционными. Чтобы исключить случайное превышение заданной испытательной частоты вращения, повышение частоты вращения должно быть плавным.

5.3.7. Испытание на нагревание

Стандарты на электрические машины оценивают тепловое состояние машины не

по температуре ее частей, а по превышению их температуры над температурой охлаждающей среды, которая для нормальных условий эксплуатации принята равной 40°C. Исключение составляет оценка нагрева подшипников и подпятников, для нормальной работы которых важна определенная вязкость смазочных материалов, определяемая их температурой, сравнительно мало зависящей от температуры окружающей среды.

Для измерения нагрева частей электрических машин стандартами предусмотрено три метода: метод сопротивлений, метод термометра и метод заложенных термопреобразователей (термоиндикаторов).

Метод сопротивлений основан на изменении сопротивления постоянному току проводников обмотки в зависимости от их температуры. Он применяется для определения температуры изолированных обмоток и позволяет определить среднюю их температуру или среднюю температуру отдельной части обмотки (параллельной ветви, если она имеет отдельные выводы или фазы обмотки). Неравномерность нагрева участков или отдельных точек обмотки этим методом определить нельзя.

Для определения температуры обмотки данным методом измеряется ее сопротивление постоянному току в практическом холодном состоянии машины R_x или при известной температуре обмотки ϑ_x и в нагретом состоянии R_r . Температура в нагретом состоянии ϑ_r определяется по известному для материала обмотки температурному коэффициенту сопротивления α , отнесенному к некоторой условной температуре ϑ , при которой сопротивление обмотки равно R . При испытании электрических машин для обмоточной меди используют значение температурного коэффициента, отнесенное к температуре $\vartheta = 15^\circ\text{C}$, равное $\alpha = 0,004\ 1/^\circ\text{C}$. Тогда средняя температура обмотки по данным измерений ее сопротивлений в горячем и холодном состояниях может быть рассчитана по формуле

$$\vartheta_r = \frac{R_r - R_x}{R_x} (235 + \vartheta_x) + \vartheta_x,$$

а превышение температуры обмотки над температурой охлаждающей среды

$$\Delta\vartheta_r = \vartheta_r - \vartheta_0,$$

где ϑ_0 — температура охлаждающей среды.

Метод термометра основан на измерении температуры отдельных точек доступных поверхностей частей электрической машины, например температуры точек внешней

поверхности магнитопровода статора или лобовых частей обмоток, но не внутри этих частей.

Для проведения измерений этим методом используют как термометры расширения (ртутные или спиртовые, если точки измерения находятся в переменном магнитном поле), так и другие виды измерителей температуры или термопреобразователи, приложенные к доступным точкам поверхности частей машины.

Метод заложенных термопреобразователей предусматривает измерение температуры с помощью термоэлектрических преобразователей, терморезисторов или терморезисторов, которые заложены внутри частей машины в точках, где ожидается наибольшее повышение температуры, например на дне пазов под обмотку или в пазах между сторонами катушек и т. п. Их выводные концы выводятся наружу к измерительным схемам.

Показания приборов, включенных в схемы термопреобразователей, используются как при тепловых испытаниях машин, так и для контроля теплового состояния машины во время всего периода ее эксплуатации.

При проведении детальных тепловых испытаний электрических машин или при исследовательских испытаниях в машины закладываются дополнительные элементы термопреобразователей, число и место установки которых определяется таким образом, чтобы получить полную картину температурного поля машины.

Для измерения температуры частей машины используются также другие методы. Для измерения температуры в замкнутом объеме, например температуры масла в подшипниках, могут применяться манометрические термометры, показания которых основаны на изменении давления в окружающем пространстве. Для бесконтактного измерения температуры поверхности вращающихся частей машины, например поверхности коллектора, могут быть использованы так называемые «тепловизоры», показания которых меняются в зависимости от интенсивности инфракрасного излучения нагретой поверхности.

Метод термочувствительных красок основан на свойстве некоторых красок менять свой цвет при определенной температуре и сохранять измененный цвет после охлаждения. Это позволяет с помощью набора из нескольких красок, рассчитанных на определенные температуры, сравнительно просто определить пределы нагрева вращающихся деталей, недоступных для наблюдения при работе машины. Однако этот метод дает

низкую точность измерений из-за ограниченного ассортимента термочувствительных красок.

Методы проведения испытаний на нагревание и определения установившейся температуры частей машины при номинальных режимах ее работы определены в ГОСТ 25000-81 (см. табл. 5.1).

5.3.8. Определение коэффициента полезного действия

Коэффициент полезного действия электрической машины есть отношение отдаваемой машиной активной мощности P_2 к подводимой к машине активной мощности P_1 ; КПД обычно выражается в процентах:

$$\eta = 100 P_2 / P_1,$$

или в долях единицы:

$$\eta = P_2 / P_1. \quad (5.1)$$

Электрическая мощность, подводимая к двигателю, и электрическая мощность, отдаваемая в сеть генератором, измеряется непосредственно с помощью ваттметров. Измерение механической мощности, отдаваемой двигателем и подводимой к генератору, встречает затруднение и требует специальных устройств. Это усложняет определение КПД электрических машин.

Подводимая и отдаваемая мощности электрической машины различаются на сумму потерь в ней, которые возникают в процессе взаимного преобразования электрической и механической энергий $P_2 = P_1 - \sum P$. Исходя из этого, выражение для КПД может быть записано в иной форме:

для двигателей

$$\eta = 1 - \sum P / P_1; \quad (5.2a)$$

для генераторов

$$\eta = 1 - \sum P / (P_2 + \sum P). \quad (5.26)$$

Соответственно двум формам записи (5.1) и (5.2) существуют две группы методов определения КПД: методы непосредственного определения, т.е. прямого и одновременного измерения P_1 и P_2 испытуемой машины, и методы косвенного определения КПД, при которых измеряются только потери в машине. Сумма потерь $\sum P$ относится к электрической мощности, потребляемой двигателем или отдаваемой в сеть генератором.

Методы непосредственного определения КПД. Стандартами предусмотрены три метода непосредственного определения КПД.

Метод измерения электрических мощностей применяется для определения КПД преобразовательных агрегатов, состоящих из двигателя и одного или нескольких генераторов, выпускаемых комплектно. Электрические активные мощности измеряются на входе двигателя и на выходе генератора (или генераторов). Разность измеренных мощностей равна суммарным потерям в агрегате, отношение мощностей — КПД агрегата или, что то же самое, произведению КПД всех машин, входящих в агрегат.

Метод торможения применяется в основном для определения КПД двигателей. Торможение осуществляется механическим или иным тормозом с измерителем момента. Отдаваемая двигателем механическая мощность (мощность на валу двигателя) определяется как произведение вращающего момента на частоту вращения. Потребляемая двигателем активная электрическая мощность из сети измеряется ваттметром.

Метод нагрузки может быть использован как для двигателей, так и для генераторов. В качестве нагрузки испытуемого двигателя используется тарированный генератор, отдающий энергию на специальное нагрузочное устройство или в сеть. В опытах измеряется электрическая активная мощность, подводимая к двигателю, $P_{1д}$ и электрическая активная мощность, отдаваемая тарированным генератором, $P_{2г}$. Коэффициент полезного действия испытуемого двигателя $\eta_{д}$ определяется с учетом КПД тарированного генератора $\eta_{г}$:

$$\eta_{д} = P_{2г} / (\eta_{г} P_{1д}).$$

Для определения КПД генератора используют тарированный двигатель. Коэффициент полезного действия испытуемого генератора $\eta_{г}$ определяют по отношению мощностей отдаваемой генератором $P_{2г}$ и подводимой к тарированному двигателю $P_{1т}$ с учетом его КПД:

$$\eta_{г} = P_{2г} / (\eta_{1т} P_{1т}).$$

Методы непосредственного определения КПД уступают косвенным методам как по сложности измерений, так и по точности. Это объясняется несколькими причинами, из которых основными являются следующие:

сложность создания и измерения тормозного момента на валу испытуемого двигателя или вращающего момента на валу испытуемого генератора. При испытаниях машин большой мощности эта задача становится неразрешимой в условиях обычной испытательной станции предприятия;

необходимость обеспечения при проведении измерений того же теплового состояния испытуемой машины, что и в режиме работы, для которого определяется КПД. Несоблюдение этого условия приводит к большой погрешности определения КПД из-за изменения потерь в испытуемой машине, зависящих от температуры.

В связи с этим стандарты разрешают применять методы непосредственного определения КПД только для машин, имеющих гарантированные значения КПД меньше 85%. Для машин с большими значениями КПД его определение должно производиться косвенными методами.

Косвенные методы определения КПД. Из группы методов косвенного определения КПД основным является метод раздельного определения потерь. Каждый вид потерь определяется или рассчитывается по данным соответствующих опытов проводимых в определенных режимах.

Основные и добавочные потери в стали определяются из опыта холостого хода для напряжения, соответствующего рабочему режиму, а для машин постоянного тока с номинальным напряжением меньшим 100 В — с учетом падения напряжения на всех элементах последовательной цепи якоря. При этом все сопротивления элементов последовательной цепи приводятся к расчетной температуре.

Механические потери, включающие потери на трение в опорах, скользящих контактах и на всех поверхностях, омываемых охлаждаемыми средами, также определяются методом разделения потерь из опыта холостого хода.

Электрические потери в рабочих обмотках и обмотках возбуждения определяются по рабочему току в этих обмотках и их сопротивлениям, приведенным к расчетной температуре.

Электрические потери в скользящих контактах рассчитываются как произведение токов через контакты на переходное падение напряжения под щетками, которое считается не зависящим от тока.

Добавочные потери при нагрузке учитываются в процентах подводимой мощности для двигателей и отдаваемой мощности для генераторов при их номинальной нагрузке. Добавочные потери для компенсированных машин постоянного тока, синхронных машин мощностью до 100 кВт·А и асинхронных бесколлекторных машин принимаются в расчетах равными 0,5% номинальной мощности; для некомпенсированных машин постоянного тока — 1%; для коллекторных

машин переменного тока — также 1%, если для них соответствующими документами не предусмотрены иные значения. При мощности, отличающейся от номинальной, значения добавочных потерь пересчитываются пропорционально квадрату тока рабочей цепи.

Для синхронных машин мощностью более 100 кВт·А при определении КПД добавочные потери не рассчитывают. Их получают экспериментально в сумме с основными электрическими потерями в обмотке статора.

Для двигателей постоянного тока с широким регулированием частоты вращения рассчитанные добавочные потери увеличивают, умножая на следующие коэффициенты, зависящие от частоты вращения, для которой рассчитывается КПД:

Отношение частоты вращения к номинальной	1,5	2,0	3,0	4,0
Коэффициент увеличения добавочных потерь	1,4	1,7	2,5	3,2

При испытаниях синхронных компенсаторов определяют сумму потерь и относят ее к полной мощности машины, так как понятие КПД для них не имеет смысла.

Более детально методы определения КПД и отдельных видов потерь изложены в ГОСТ 25492-83 (см. табл. 5.1).

5.3.9. Измерение вибрации и уровня шума

Стандартами СССР измерение вибрации и шума электрических машин предусмотрено как обязательное только в приемочных испытаниях. Однако вопросам снижения вибрации и шума в последнее время уделяется все большее внимание. Возрастающие требования к виброакустическим характеристикам электрических машин находят отражение в стандартах и ТУ на конкретные виды машин новых серий. Учитывая, что эти характеристики имеют меньшую стабильность по сравнению с другими техническими данными машин, а также жесткие требования стандартов и ТУ к их допустимому уровню, многие предприятия проводят измерение шума и вибрации каждой выпускаемой машины. Таким образом, эти испытания для большого числа видов машин переходят в программы прямо-сдаточных испытаний.

Для снятия виброакустических характеристик применяются специальные оборудование и аппаратура, которая позволяет не только измерить уровни шума и вибрации испытуемых машин, но и получить данные

для анализа причин ухудшения этих характеристик.

Измерения шума и вибрации электрических машин проводятся в соответствии с ГОСТ 11929-81 и ГОСТ 20815-71 (см. табл. 5.1).

5.3.10. Характеристики и параметры электрических машин

Программы испытаний машин разных видов помимо рассмотренных в пп. 5.3.1—5.3.9 содержат ряд пунктов, относящихся к определению характеристик двигателей и генераторов, отдельных параметров машин, характерных точек механических характеристик и т. п. Требования, предъявляемые к машинам при проведении испытаний по данным пунктам программ, изложены в ГОСТ 183-74 применительно к каждому виду машин и в стандартах и ТУ на конкретные виды машин.

Методы проведения соответствующих испытаний определены в стандартах на методы испытаний (см. табл. 5.1).

Термины и определения понятий, используемых в программах и в описании методов испытаний, установлены ГОСТ 17154-71.

5.4. Испытания на надежность

5.4.1. Задачи и методы испытаний

Основные виды испытаний на надежность — определительные и контрольные. Кроме них в ряде случаев проводятся испытания с целью прогнозирования надежности и технического состояния электрических машин.

Определительные испытания проводятся для нахождения фактических количественных показателей надежности после окончательного освоения машины производством или после ее модернизации на опытных образцах, изготовленных по серийному технологическому циклу. При определительных испытаниях оцениваются законы распределения отказов и параметры этих законов. Результаты определительных испытаний служат для оценки соответствия фактических показателей надежности техническим условиям.

Контрольные испытания на надежность проводятся для контроля соответствия количественных показателей надежности требованиям стандартов или ТУ. Контрольные испытания проводятся периодически в сроки, установленные стандартами или ТУ на данную электрическую машину.

Машину испытывают при номинальных уровнях воздействующих факторов: номинальных нагрузке и температуре окружающей среды, ее химическом составе, уровне вибрации и нагрузки на подшипники, числе пусков, реверсов и торможений. Через время, эквивалентное одному году работы, проводится увлажнение обмоток в камере влажности с последующим воздействием росы, что эквивалентно переходу машины из рабочего состояния в нерабочее в процессе нормальной эксплуатации.

Ресурс современных электрических машин составляет 20—50 тыс. ч, а это значит, что проведение испытаний может затянуться на 5—10 лет. За это время информация о результатах испытаний может устареть. Ускорение испытаний может быть достигнуто за счет форсирования (ужесточения) режимов: повышения температуры, уровня вибрации, числа пусков, нагрузки на подшипники. Между ускоренными испытаниями и испытаниями в нормальных условиях должно быть найдено соответствие, для чего вводят коэффициенты ускорения.

Под коэффициентом ускорения понимают отношение времени испытаний в обычных условиях t_n к времени испытаний в форсированных режимах t_y при условии равенства значений вероятностей безотказной работы в обоих случаях:

$$k_y = t_n / t_y.$$

Основное требование, предъявляемое к ускоренным испытаниям, — идентичность процессов старения и износа по отношению к испытаниям в нормальных условиях, что означает идентичность законов распределения отказов.

Различают три основных метода проведения контрольных испытаний: однократной выборки, двукратной выборки, последовательного анализа. В отдельных случаях проводятся ускоренные контрольные испытания в нормальных условиях, когда испытания базируются на известной математической модели процесса.

Методы проведения контрольных испытаний отражены в ГОСТ.

Основная задача испытаний по прогнозированию — предсказать количественные характеристики надежности машины в будущем, предвидеть ресурс, остаточный ресурс, вероятность безотказной работы и т. д. Различают групповое и индивидуальное прогнозирование.

К информации о надежности относится также диагностика. Цель диагностики — определение работоспособности машины

в данный момент времени и выявление дефектов ее отдельных узлов.

5.4.2. Контрольные испытания

Конечным результатом контрольных испытаний на надежность является одно из двух решений: принять партию машин, считая их надежность удовлетворяющей требованиям стандартов (ТУ или технических заданий), или забраковать данную партию машин как ненадежную.

Контрольные испытания на надежность представляют собой выборочный контроль, поэтому при принятии решения возможны ошибки двух видов: ошибка первого рода (бракуется хорошая партия) и ошибка второго рода (принимается плохая партия). Вероятность ошибки первого рода α называется риском изготовителя, ошибка второго рода β — риском заказчика (потребителя).

Из трех основных методов статистического контроля надежности легче всего планируется контроль по методу однократной выборки.

Однако с точки зрения объема выборки изделий, необходимых для проведения испытаний, этот метод наименее экономичен. Контроль по методу двукратной выборки более экономичен, хотя это его преимущество проявляется лишь при контроле больших партий с очень низкой или очень высокой надежностью. При этом увеличивается время испытаний и усложняются расчеты по сравнению с методом однократной выборки. Наиболее экономичен метод последовательного анализа, при котором средний объем выборки составляет 50—70% объема при использовании метода однократной выборки. Время испытаний оказывается большим, чем в двух предыдущих методах.

Методика контрольных испытаний на надежность, проводимых периодически, в самом общем случае должна содержать перечень показателей надежности, подлежащих контролю, а также следующие данные по каждому конкретному показателю надежности:

- приемочный уровень P_α и браковочный уровень P_β ;
- риск заказчика β и риск изготовителя α ;
- метод проведения испытаний;
- план испытаний;
- перечень параметров, характеризующих состояние изделия;
- условия испытаний (уровень воздействующих факторов и их значения, последовательность и продолжительность их воздействия и др.);

решающее правило (приемка или отбраковка партии машин).

Контрольные испытания могут проводиться ускоренным методом, если определены коэффициенты ускорения, а также сам режим ускоренных испытаний. Методика контрольных испытаний рассчитана на подтверждение вероятности безотказной работы машины за время t , т. е. $P(t)$. Периодичность контроля качественных показателей надежности устанавливается в ТУ. Комплексирование выборки производится методом случайных чисел с использованием соответствующих таблиц.

Образцы для проведения контрольных испытаний отбираются из числа принятых ОТК завода с обязательным прохождением приработки. Испытания рекомендуется проводить круглосуточно, во время испытаний проводятся профилактические и регламентные работы, предусмотренные инструкциями по эксплуатации. Испытания являются циклическими. Желательно проводить испытания в форсированном (ускоренном) режиме.

Перед проведением испытаний должны быть известны риск заказчика β и вероятность безотказной работы $P(t)$. При испытаниях фиксируются объем выборки n и допустимое число отказавших изделий c (приемочное число). Для уменьшения объема выборки желательно брать число c минимальным (0,1,2). Если по окончании испытаний число отказавших машин $d \leq c$, то результат считается положительным (партия принимается), если $d > c$, то отрицательным (партия бракуется).

Идея метода последовательного анализа заключается в том, что при заданных α и β количество испытываемых изделий заранее не фиксируется, как в методах однократной и двукратной выборки, а зависит от исхода наблюдений. Устанавливается правило, которым руководствуются на каждой стадии эксперимента при принятии одного из трех возможных решений: принять основную гипотезу, принять конкурирующую гипотезу, продолжить испытания. Установлены эмпирические нормы, которые дают низкое значение риска изготовителя и не требуют чрезмерных затрат на испытания. В техническое задание включаются нормы надежности: T_α — среднее время наработки на отказ, соответствующее риску изготовителя α , и T_β — среднее время наработки на отказ, соответствующее риску заказчика β . При этом T_β — это минимальное браковочное значение наработки на отказ, $T_\beta < T_\alpha$.

Выбор трех критических областей при принятии решения основан на анализе после-

довательного критерия отношения правдоподобия

$$\gamma = P[T_{\beta}] / P[T_{\alpha}].$$

До тех пор, пока $\gamma > \beta / (1 - \alpha)$, решение о приеме партии является необоснованным, и наоборот — пока $\gamma < (1 - \beta) / \alpha$, решение об отбраковке необоснованно. Здесь $(1 - \alpha)$ — вероятность приема хорошей партии, $(1 - \beta)$ — вероятность отбраковки плохой партии. Таким образом, пока выполняется неравенство

$$\beta / (1 - \alpha) < \gamma < (1 - \beta) / \alpha,$$

испытания необходимо продолжать. Если неравенство нарушается, то испытания прекращают и принимают одно из двух решений: при нарушении левой части неравенства партию принимают;

при нарушении правой части неравенства партию бракуют.

При планировании испытаний особое внимание необходимо уделять сокращению времени испытаний, поскольку при последовательном испытании электрических машин (одной за другой) резко возрастает время испытаний $t_{\Sigma} \approx nt_x$, здесь n — число испытываемых машин, t_x — календарное время испытаний одной машины.

Для сокращения времени испытаний используют следующие приемы:

1) если за установленное время испытаний $t_{\text{пред}} = kT_{\alpha}$ ($k = 10 \div 12$) решение не может быть принято, то принимают решение либо об изменении значений α и β , либо об оценке ситуации относительной прямой bt :

$$b = \frac{1/T_{\beta} - 1/T_{\alpha}}{\ln(T_{\alpha}/T_{\beta})}.$$

Если число отказавших изделий r лежит выше прямой bt , т. е. $r = f(t) > bt$, то выносятся решение об отбраковке. Если $r < bt$, то выносятся решение о приемке;

2) заранее принимают решение об усечении (ограничении) последовательного анализа. При этом методика предполагает одновременное испытание всех образцов с фиксацией отказов в моменты их возникновения. Параметры усечения $r_{\text{ус}}$ и $t_{\text{ус}}$ определяются по таблицам, приведенным в ГОСТ 27.410-83.

5.4.3. Определительные испытания

Эти испытания проводятся для определения реального уровня надежности электрических машин. Испытаниям подвергается выборка из генеральной совокупности. Ис-

черпывающей характеристикой надежности технических изделий является закон распределения вероятности безотказной работы, по которому можно легко определить любую интересующую нас характеристику надежности.

По результатам испытаний могут быть получены точечные оценки параметра и интервальные оценки. При интервальных оценках определяется, какой интервал с заданной доверительной вероятностью β накрывает математическое ожидание оцениваемого параметра A . Границы такого интервала носят название доверительных границ:

$$\beta = P(A_n < A < A_n),$$

где A_n , A_v — нижняя и верхняя доверительные границы параметра A .

Вероятность того, что значение A выйдет из интервала A_n , A_v , называют уровнем значимости α . В технике наиболее часто употребляемые значения доверительных вероятностей равны 0,9; 0,95; 0,99, что соответствует уровням значимости 0,10; 0,05; 0,01 соответственно.

Полученные по отказам изделий данные подвергаются статистической обработке, в результате которой решаются следующие задачи:

1) определение вида функции плотности распределения или интегральной функции распределения;

2) вычисление параметров полученного распределения;

3) установление с помощью критериев согласия степени совпадения экспериментального распределения с теоретическим;

4) определение параметров надежности исследуемых изделий.

Наиболее известными и распространенными теоретическими распределениями являются: экспоненциальное, нормальное, логарифмически нормальное, распределение Вейбулла и гамма-распределение. Поэтому при определении вида распределения аппроксимируют экспериментально полученные характеристики этими законами и выбирают из них наиболее совпадающий с экспериментальным.

Для выбора вида теоретического распределения, совпадающего в наибольшей мере с экспериментальным, чаще всего применяются метод максимума правдоподобия и метод наименьших квадратов (для определения параметров распределения при полных выборках). Для оценки степени совпадения эмпирической и теоретической зависимостей применяются критерии согласия, обычно критерий Пирсона (χ^2) или критерий Колмо-

горова. Методика применения этих критериев приводится в [1].

При графическом методе оценки закона распределения на бумагу со специальной координатной сеткой наносят значения $H_i/\sum n_i$ или $(1 - H_i/\sum n_i)$, где H_i — накопленное к данному моменту времени число отказов; $\sum n_i$ — общее число отказов.

При проверке экспоненциального закона используется бумага с равномерной шкалой по оси времени t (по оси абсцисс) и логарифмической шкалой по оси ординат. При проверке нормального закона шкала по оси абсцисс остается равномерной, а по оси ординат используется шкала, соответствующая нормальному закону. При проверке логарифмически нормального закона по оси абсцисс используется логарифмическая шкала, по оси ординат — шкала, соответствующая нормальному закону. При проверке закона Вейбулла используются специальные шкалы.

После нанесения экспериментальных точек на бумагу проводится проверка, состоящая в определении возможности линейной интерполяции экспериментальных данных, определении наибольшего отклонения D и проверке по критерию согласия Колмогорова.

Прямую проводят так, чтобы отклонения экспериментальных точек от нее были минимальным, а сами точки располагались по обе стороны от прямой.

Наибольшее отклонение определяется сравнением отклонений по оси ординат экспериментальных точек от прямой при различных значениях времени. Критерий согласия Колмогорова рассчитывается по формуле $D/\sqrt{n}$, где n — общее число экспериментальных точек. Если $D/\sqrt{n} \leq 1,0$, то гипотеза о предполагаемом законе распределения подтверждается, если $D/\sqrt{n} > 1,0$, то гипотеза отвергается. После подтверждения вида закона распределения определяют параметры этого закона.

5.4.4. Диагностика и прогнозирование технического состояния электрических машин

Цель диагностики — определение работоспособности электрической машины в данный момент времени и выявление дефектов ее отдельных узлов. Важно не только определение характера дефекта, но и точного места его нахождения. На базе данных, получаемых при диагностических испытаниях, делается вывод о соответствии машины ТУ и о тех мерах, которые необходимо предпри-

нять для того, чтобы машина соответствовала этим условиям. Кроме того, диагностика дает данные, необходимые для осуществления ремонтных работ или изменения характера эксплуатации.

Вопросы диагностики тесно связаны с критериями работоспособности электрических машин, анализ которых позволяет поставить диагноз о техническом состоянии электрической машины. Сказанное не означает, что все критерии работоспособности являются диагностическими параметрами. Необходимо выявить наиболее информативные (в смысле выявления и обнаружения дефектов и их расположения) из критериев работоспособности и из электромагнитных параметров электрических машин (напряжение, ток, момент и др.). Для каждого типа машин, класса напряжения и мощности информативность тех или иных параметров работоспособности изменяется, и поэтому критерии работоспособности должны определяться в каждом конкретном случае.

Прогнозирование технического состояния означает определение будущего состояния электрической машины на основании изучения тех факторов, от которых это состояние зависит. Прогнозирование может осуществляться как в процессе разработки, так и в период эксплуатации машины. В последнем случае целью прогнозирования является своевременное обнаружение неблагоприятного состояния машины и разработка рекомендаций по повышению уровня его надежности.

Основополагающим принципом прогнозирования является использование прошлого опыта. Информация о машине (априорная) является базой для процесса прогноза и получения оценок в будущем (апостериорные оценки).

Прогноз можно понимать как получение апостериорной оценки некоторого качества исследуемого явления на основе априорных сведений о прошлом и настоящем. Априорная информация является единственным основанием для определения модели исследуемого явления — детерминированной или стохастической.

В период эксплуатации апостериорной оценкой является надежность машины после проведения контроля ее состояния. Надежность, рассчитанная на предыдущем этапе, является априорной, а контроль рассматривается как опыт, по результатам которого оценивается апостериорная надежность. Таким образом, вычислению прогнозируемой характеристики всегда должны предшествовать опыт, эксперимент, данные которого

используются совместно с априорной информацией. Это обстоятельство и отличает прогноз от расчета.

Различают прогнозирование технического состояния и прогнозирование надежности. В первом случае дается прогноз технических параметров машины либо эти параметры относятся к тому или иному классу, а также дается прогноз отказов машины. Во втором случае дается прогноз количественных показателей надежности машины на основе прогнозирования постепенных и внезапных отказов.

Прогнозирование может быть групповым и индивидуальным. К методам группового прогнозирования можно отнести статистическую оценку срока службы однотипных изделий на основе результатов контрольных и определительных испытаний на надежность. В этом случае путем обработки результатов испытаний некоторого числа изделий на срок службы вычисляется количественная среднесквадратичная оценка срока службы всей партии электрических машин. К достоинствам метода индивидуального прогнозирования относится возможность оценки надежности каждой конкретной машины.

К решению задачи прогнозирования существуют два подхода — детерминированный и стохастический. В первом случае задача сводится к отысканию аппроксимирующего выражения, во втором в качестве прогнозируемой характеристики принимается реализация случайной величины, определяющая интервал времени от момента контроля до первого пересечения поля допуска прогнозируемой величины. Поскольку процессы износа, старения и разрегулирования электрических машин, обуславливающие развитие постепенных отказов, являются случайными величинами, более общий характер носит стохастический подход.

Решение задачи прогноза выполняется в виде реализации следующих последовательных этапов:

- разработка модели исследуемого процесса и ее математическое описание;

- получение данных контроля и использование их для определения исследуемого процесса (построение апостериорного процесса);
- вычисление необходимых апостериорных характеристик процесса.

В настоящее время разрабатывается третий метод прогнозирования — метод распознавания образов. Метод предполагает разбиение всей группы изделий на несколько классов (групп) в соответствии с признаками каждого класса. Между классами устанавли-

ваются строгие границы. Процесс создания образа разбит на три этапа: «обучение», создание образа, «экзамен». Процесс индивидуального прогнозирования надежности методом распознавания образов сводится к отнесению данной электрической машины к тому или иному классу на основании критериев работоспособности, причем для каждого класса должны быть априорно известны показатели надежности и технические характеристики.

5.4.5. Выбор показателей работоспособности

При проведении различных испытаний на надежность, а также при решении задач диагностики и прогнозирования надежности электрических машин всегда необходимо знать техническое состояние исследуемого узла или машины в целом в данный момент времени. Это осуществляется с помощью критериев работоспособности. Применительно к задачам диагностики показатели технического состояния называются диагностическими параметрами.

При проведении испытаний перед исследователем стоит противоречивая задача. С одной стороны, отсутствует единый информативный показатель, полностью характеризующий работу отдельного узла электрической машины. С другой стороны, фиксация (наблюдение) большого числа показателей, характеризующих работоспособность, резко удорожает эксперимент и наталкивается на определенные технические трудности.

Это противоречие на практике обычно разрешается следующим образом: из всей совокупности показателей работоспособности данного узла выбираются наиболее информативные, т. е. наиболее полно описывающие его работу, причем число этих показателей обычно не превышает двух-трех. В настоящее время для выбора информативных показателей используется метод экспертных оценок.

Этот метод отличается от других формализованных методов определения значимости критериев тем, что не требует проведения специального эксперимента и достаточно прост в обработке. Метод основан на использовании опыта и интуитивных догадок экспертов. Иными словами, экспериментальные данные в этом методе заменяются априорной информацией, накопленной группой экспертов в процессе их самостоятельной работы. В основе корректных методов

экспертных оценок лежат пять исходных условий группового выбора решений:

универсальность, понимаемая в смысле наличия достаточного разнообразия возможностей выбора экспертов;

наличие положительных связей общественных и индивидуальных предпочтений; независимость несвязанных альтернатив; наличие суверенности экспертов; отсутствие диктаторства.

При всей привлекательности метода экспертных оценок он остается субъективным, и при решении других задач надежности желательно по возможности использовать

объективные методы выделения доминирующих факторов. Так, при организации испытаний на надежность необходимо подвергать электрические машины воздействию большого количества факторов в соответствии со стандартами или ТУ на эти машины. Однако практическая реализация на испытательных стендах всех факторов одновременно часто невозможна. В этом случае выделение основных (существенных) воздействующих факторов с достаточно высокой степенью достоверности и объективности производится с помощью методов планирования эксперимента.

РАЗДЕЛ 6

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

6.1. Общие положения

6.1.1. Основные задачи эксплуатации

Под эксплуатацией электрических машин понимается совокупность подготовки машин, использования их по назначению, их технического обслуживания, хранения и транспортировки. Основные задачи эксплуатации — добиться бесперебойной, надежной и качественной работы электрических машин, что обеспечит их наилучшие технико-экономические показатели, повышать надежность их работы. Главная задача эксплуатации — поддерживать электрические машины в исправном состоянии в течение всего времени эксплуатации, обеспечивая их бесперебойную и экономичную работу. Для осуществления этой задачи необходимо проводить плановое техническое обслуживание, включающее проведение планово-предупредительных ремонтов и профилактических испытаний (осмотров).

При эксплуатации техническое состояние электрических машин ухудшается из-за износов, поломок, ослабления креплений и т. д. Даже ненадежный контакт в электрической машине или схеме ее управления может привести к ложному срабатыванию защиты, выходу машины из строя или аварии. Правильное техническое обслуживание позволяет своевременно выявлять и устранять как причины, которые могут повлечь неисправность, так и саму неисправность. Важным эксплуатационным показателем является надежность электрических машин (см. § 1.6). Отметим лишь, что для большинства нере-

монтируемых машин в качестве показателей надежности принимаются вероятность безотказной работы и (или) средний срок службы, для ремонтируемых электрических машин — вероятность безотказной работы и (или) наработка на отказ.

6.1.2. Основные понятия, характеризующие эксплуатацию электрических машин

Электроустановка — установка, которая вырабатывает, преобразует, распределяет или потребляет электрическую энергию. Электрическая машина является частью электроустановки.

Авария — нарушение нормального режима работы объекта в результате внезапного отказа, вызывающее повреждение основного оборудования и необходимость проведения внеочередного капитального ремонта или необходимости остановки основного оборудования на срок более 8 ч.

Гарантийный срок — период времени, в течение которого завод-изготовитель или организация, проводившая ремонт, безвозмездно устраняют неисправности, если соблюдаются правила эксплуатации электрической машины.

Долговечность — свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния с необходимыми перерывами на ремонт.

Межосмотровый период — наработка между двумя плановыми осмотрами, предусмотренными соответствующими пра-

вилами технической эксплуатации и безопасности, эксплуатационными инструкциями заводов-изготовителей. Межосмотровый период измеряется в месяцах календарного времени.

Межремонтный период — наработка объекта между двумя плановыми ремонтами, выраженная в месяцах календарного времени.

Модернизация — приведение характеристик находящегося в эксплуатации оборудования в соответствие с современными требованиями и улучшение его технических характеристик путем внедрения частичных изменений и усовершенствований в конструкцию или схему оборудования. Целесообразность модернизации должна быть экономически обоснована.

Ремонтопригодность — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к выполнению его ремонтов для предупреждения и устранения отказов.

Резервирование — метод повышения надежности объектов введением избыточности, т.е. дополнительных средств и возможностей сверх минимально требуемых для выполнения объектом заданных функций. Различают холодный и горячий, а также нагруженный, облегченный и ненагруженный резерв.

Ремонт — экономически оправданный комплекс работ для восстановления работоспособности объекта путем замены изношенных и отказавших элементов; наладка и регулирование параметров объекта с дове-

дением их до пределов, предусмотренных техническими условиями.

К основным понятиям, характеризующим эксплуатацию электрических машин, относятся также понятия из области надежности (отказ, наработка, безотказность, работоспособность, ресурс, срок службы), которые приводятся в §1.6.

6.2. Хранение электрических машин

6.2.1. Условия хранения электрических машин

Электрическая машина с завода-изготовителя поступает к заказчику (на место установки), и с этого момента начинается ее эксплуатация. Как правило, перед установкой электрическая машина или устройство, в котором она работает, в течение определенного времени хранится в нерабочем состоянии в своей транспортной упаковке. Допускается использовать транспортную упаковку на складах заказчика. По условиям хранения электрических машин на складах различают четыре группы условий: легкую — Л, среднюю — С, жесткую — Ж и особо жесткую — ОЖ. В свою очередь группа хранения Ж имеет три подгруппы — Ж1, Ж2, Ж3, отличающиеся условиями окружающей среды, а группа хранения ОЖ — четыре подгруппы. Условия хранения приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Условия хранения электрических машин

Группа	Место хранения	Условия хранения		
		Температура воздуха, °С	Относительная влажность	Дополнительные условия
Легкая (Л)	Отапливаемые (или охлаждаемые) и вентилируемые склады, расположенные в любых климатических районах	40 — 1	80% при $T \leq 25^\circ\text{C}$ без конденсации влаги	Нет
Средняя (С)	Закрытые или другие помещения с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, расположенные в районах с умеренным и холодным климатом, в которых колебания влажности и температуры воздуха существенно меньше, чем на открытом воздухе	+40 ÷ — 50	98% при $T \leq 25^\circ\text{C}$ без конденсации влаги	Нет

Продолжение табл. 6.1

Группа	Место хранения	Условия хранения		
		Температура воздуха, °С	Относительная влажность	Дополнительные условия
Жесткие (Ж): Ж1	Открытые площадки в районах с умеренным и холодным климатом	+50* ÷ -50**	100 % при $T \leq 25^{\circ}\text{C}$ с конденсацией влаги	Солнечная радиация 1125 Вт/м ² , интенсивность дождя до 3 мм/мин, наличие пыли
Ж2	Навесы или помещения, расположенные в районах с умеренным и холодным климатом, в которых колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе	+50 ÷ -50**	То же, что для Ж1	Наличие пыли
Ж3	Закрытые или другие помещения с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, расположенные в районах с тропическим климатом, в которых колебания температуры и влажности воздуха существенно меньше, чем на открытом воздухе	+50 ÷ -50	95 % при $T \leq 35^{\circ}\text{C}$ без конденсации влаги	Наличие плесневых или деструктурирующих грибов
Особо жесткие (ОЖ): ОЖ1	Открытые площадки в любых климатических районах, в том числе в районах с тропическим климатом	+60 ÷ -50**	100 % при $T \leq 35^{\circ}\text{C}$ с конденсацией влаги	Солнечная радиация 1125 Вт/м ² , интенсивность дождя — до 5 мм/мин, наличие пыли и плесневых или деструктурирующих грибов
ОЖ2	Навесы или помещения, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе, расположенные в любых климатических районах, в т. ч. в районах с тропическим климатом	+60 ÷ -50**	То же, что для ОЖ1	Наличие пыли и плесневых или деструктурирующих грибов

Продолжение табл. 6.1

Группа	Место хранения	Условия хранения		
		Температура воздуха, °C	Относительная влажность	Дополнительные условия
ОЖЗ	Открытые площадки в районах с умеренным и холодным климатом в загрязненной атмосфере	+50* ÷ -50**	100 % при $T \leq 25^\circ\text{C}$ с конденсацией влаги	Солнечная радиация 1125 Вт/м ² , интенсивность дождя — до 3 мм/мин, наличие пыли
ОЖ4	Навесы или помещения, расположенные в районах с умеренным и холодным климатом, в которых колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе	+50 ÷ -50	100 % при $T \leq 25^\circ\text{C}$ с конденсацией влаги	Наличие пыли

* Допускается кратковременное, на 3—4 ч в год, повышение температуры до +60°C.

** Для исполнений ХЛ, О, В — до -60°C.

Общий срок транспортирования и хранения электрических машин в транспортной упаковке не должен превышать: 2 года в особо жестких, 3 года — в жестких, 5 лет — в легких и средних условиях хранения.

При размещении на хранение транспортная упаковка вскрывается, проверяется сохранность внутренней упаковки, консервации и самой электрической машины. Все повреждения внутренней упаковки и консервации восстанавливают. При складировании машины (или их части) массой до 500 кг размещают на стеллажах. Размещение на хранение различных типов электрических машин (и их частей) должно производиться следующим образом:

синхронные машины и асинхронные двигатели с фазным ротором в собранном виде — Л в районах умеренного климата, ЖЗ — в районах тропического климата;

асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором в собранном виде — С и ЖЗ; машины постоянного тока в собранном виде — Л и ЖЗ;

статор и части статора машин переменного тока, магнитная система машин постоянного тока, кожухи и щиты, маховики и вентиляторы — С и ЖЗ;

стояковые подшипники, роторы машин переменного тока, якоря машин постоянного

тока, аппараты, щиты и станции управления низкого напряжения, траверсы — Л и ЖЗ; фундаментные плиты — ЖЗ и ОЖЗ.

6.2.2. Классификация помещений с электроустановками и размещение электрооборудования

Классификация помещений с электроустановками, составной частью которых являются электрические машины, проводится по уровню применяемого напряжения — различают установки до 1000 В и свыше 1000 В; по расположению электроустановки делятся на открытые (внешние) и закрытые (внутренние). Установки, защищенные сетками или навесами, относятся к открытым.

В отношении возможности поражения людей электрическим током промышленные помещения с электроустановками разделяются следующим образом:

1. Помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырости (относительная влажность более 70%) или токопроводящей пыли; токопроводящих полов (металлических, земляных, железобетонных, кирпичных); высокой температуры (длительно превышает +30°C); возможности одновременного прикосновения человека к металличе-

ческим корпусам электрооборудования и к имеющим соединение с землей металлическим конструкциям здания, технологическим аппаратам, механизмам.

2. Особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность: большой сырости (относительная влажность около 100%, стены помещения и предметы, находящиеся внутри него, покрыты влагой); химически активной среды, разрушающей действующей на изоляцию и токоведущие части электрооборудования; одновременно двух или более условий повышенной опасности (см. п. 1.).

3. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

Для возможности монтажа и нормальной эксплуатации электрических машин помещения с электроустановками должны удовлетворять ряду требований. Так, расстояние между транспортируемыми элементами электрооборудования и элементами здания должно быть не менее 0,3 м по вертикали и 0,5 м по горизонтали. Ширина проходов между фундаментами или корпусами машин, между машинами и частями здания должна быть не менее 1 м. Ширина прохода для обслуживания между машинами и шитами управления должна быть не менее 2 м (при открытой дверце щита управления это расстояние должно быть не менее 0,6 м для установок напряжением до 1000 В).

Электрические машины должны быть установлены таким образом, чтобы их работа не вызывала шума и вибраций самой машины, ее фундамента и самого здания выше допустимых пределов. Кроме того, в электромашинном помещении должны быть предусмотрены монтажные площадки, на которых может производиться ремонт и монтаж оборудования, а также необходимые грузоподъемные устройства для подъема и переноски оборудования.

Только при соблюдении этих необходимых условий возможен нормальный монтаж электрических машин, их текущее обслуживание и проведение ремонтных работ.

6.3. Выбор электродвигателей

Процедура выбора электродвигателей состоит в удовлетворении ряда требований потребителя; выбор состоит в переборе возможных вариантов, в том числе: по роду тока и напряжению, конструктивному исполнению, уровню вибрации и шума, мощности и режиму работы.

6.3.1. Выбор электродвигателей по роду тока, конструктивному исполнению, классу вибрации и уровню шума

Выбор по роду тока. В соответствии с рекомендациями двигателя постоянного тока выбираются (применяются) лишь в тех случаях, когда двигатели переменного тока не обеспечивают требуемых характеристик механизма либо не экономичны. При этом для механизмов с продолжительным режимом работы, с редкими включениями и малыми нагрузками при пуске наиболее целесообразен синхронный двигатель. Применение синхронного двигателя позволяет обеспечить высокие энергетические показатели в процессе эксплуатации.

Что касается напряжения, то двигатели постоянного тока единой серии 2П изготавливаются на одно номинальное напряжение каждый, асинхронные двигатели единой серии 4А — на одно или два номинальных напряжения каждый, синхронные двигатели — на одно напряжение (подробнее см. вторую часть Справочника). При этом двигатели должны обеспечивать выдачу номинальной мощности при отклонении напряжения от номинального в некотором диапазоне. Знание этого диапазона (имеется в стандартах и ТУ на соответствующие типы двигателей) особенно необходимо при выборе двигателей, работающих в автономных сетях, где их нагрузка соизмерима с мощностью сети.

Выбор по конструктивному исполнению. При выборе конструктивного исполнения двигателя необходимо учитывать условия его эксплуатации, под которыми следует понимать в первую очередь воздействие климатических факторов окружающей среды, а также способ охлаждения и исполнение двигателей по способу монтажа.

Электрические машины обычно предназначаются для эксплуатации в одном или нескольких макроклиматических районах и в соответствии с ГОСТ 15150-69 и 15543-70 изготавливаются в следующих климатических исполнениях: У, УХЛ, Т, О, М, ОМ, В.

Электрические машины исполнения У, УХЛ, Т, О предназначены для эксплуатации на суше, реках и озерах, исполнения М, ОМ — на морских судах, В — на суше и на море для всех макроклиматических районов, в том числе: У — для макроклиматических районов с умеренным климатом, УХЛ — с холодным климатом, Т — с тропическим климатом, О — для всех макроклиматических районов на суше, М — с умеренно холодным морским климатом, ОМ — для неограниченного района плавания.

Значения климатических факторов для этих исполнений приведены в разд. 1.

При эксплуатации электрических машин на открытом воздухе (категория размещения I) регламентируется также интенсивность дождя: для исполнений У, УХЛ — 3 мм/мин; Т, М и ОМ — 5 мм/мин. Электрические машины исполнений У, УХЛ, Т предназначаются, как правило, для эксплуатации в атмосфере типов I и II, а исполнений М, ОМ — в атмосфере типа III (табл. 6.2).

Таблица 6.2. Типы атмосферы, окружающей электрические машины

Обозначение	Тип атмосферы	Содержание коррозионно-активных агентов, мг/(м ³ ·сут)	
	Наименование	Сернистый газ	Хлориды
I	Условно-чистая	До 20	Менее 0,3
II	Промышленная	20—110	Менее 0,3
III	Морская	До 20	30—300
IV	Приморско-промышленная	200—110	0,3—30

Кроме климатических условий важное значение имеет категория размещения электрических машин. Различают пять категорий размещения, обозначаемых цифрами от 1 до 5, характеристика которых приведена в разд. 1.

Корпус машины вместе с подшипниковыми цитами образует защитную оболочку, обеспечивающую защиту электрической машины от попадания внутрь машины твердых предметов и воды. В соответствии с ГОСТ 17494-72 машины выпускаются с различными степенями защиты персонала от соприкосновения с находящимися под напряжением частями и с вращающимися частями, находящимися внутри корпуса, а также степенями защиты машины от попадания внутрь нее твердых посторонних тел и воды. Степени защиты электрических машин рассмотрены в § 2.3.

Электродвигатели, устанавливаемые в помещениях с нормальной средой, как правило, должны иметь исполнение IP00 или IP20. При установке электродвигателей на открытом воздухе они должны иметь исполнение не ниже IP44. При эксплуатации электродвигателей в помещениях, где могут иметь место химически активные пары или газы, возможно оседание на обмотках пыли и других веществ, нарушающих естественное охлаждение, исполнение должно быть не

менее IP44 или необходимо продуваемое исполнение с подводом чистого воздуха. Корпус продуваемого электродвигателя, воздухопроводы, все сопряжения и стыки должны быть тщательно уплотнены для предотвращения присоса воздуха в систему вентиляции. При продуваемом исполнении электродвигателя рекомендуется предусматривать задвижки для предотвращения всасывания окружающего воздуха при остановке электропривода.

Электродвигатели, устанавливаемые в сырых или особо сырых местах, должны иметь исполнение не менее IP43 и изоляцию, рассчитанную на воздействие сырости и пыли (со специальной обмазкой, влагостойкую и т. д.).

Выбор двигателя в зависимости от способа его охлаждения в значительной мере зависит от категории размещения, условий окружающей среды и класса нагревостойкости его изоляции и, кроме того, определяется также экономическими факторами и режимом работы.

Особое внимание следует обращать на выбор исполнения двигателей для установок, размещаемых в пожароопасных и взрывоопасных зонах.

Пожароопасной зоной называется пространство внутри и вне помещений, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие (сгораемые) вещества и в котором они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях. Классификация пожароопасных зон приведена в табл. 6.3. В пожароопасных зонах любого класса могут при-

Таблица 6.3. Классификация пожароопасных зон

Класс зоны	Условия, определяющие класс зоны
П-I	Зоны в помещениях, в которых обрабатываются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С
П-II	Зоны в помещениях, в которых выделяются горючие пыли или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м ³ к объему воздуха
П-IIa	Зоны в помещениях, в которых обрабатываются твердые горючие вещества
П-III	Вне помещений зоны, в которых обрабатываются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые горючие вещества

Таблица 6.4. Классификация взрывоопасных зон

Класс зоны	Условия, определяющие класс зоны
V-I	Зоны в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы
V-Ia	Зоны в помещениях, в которых опасные состояния, характерные для класса V-I, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей
V-Iб	То же, что и для V-Ia, но отличающиеся одной из следующих особенностей: 1) горючие газы обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (1% и более) и резким запахом; 2) помещения производств, связанных с газообразным водородом, в которых исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5% свободного объема помещения; 3) зоны лабораторных и других помещений, в которых горючие газы и ЛВЖ имеются в небольших количествах, недостаточных для создания взрывоопасной смеси в зоне, превышающей 5% свободного объема помещения, причем работа проводится без применения открытого пламени
V-Ir	Пространства у наружных установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ
V-II	Зоны в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы
V-IIa	Зоны в помещениях, в которых опасные состояния, характерны для зон класса V-II, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей

меняться электрические машины с классами напряжения до 10 кВ при условии, что их оболочки имеют степень защиты не менее IP44. Лишь в зонах класса II-II при использовании искрящихся машин или с искрящими по условиям работы частями степень защиты оболочки должна быть IP54. В пожароопасных зонах любого класса могут применяться электрические машины, продуваемые чистым воздухом по замкнутому и разомкнутому циклам. В последнем случае выброс отработанного воздуха в пожароопасную зону не допускается.

Взрывоопасной зоной (табл. 6.4) является помещение или ограниченное пространство в помещении или наружной установке, в котором имеются или могут образоваться взрывоопасные смеси. Под последними понимаются смеси с воздухом горючих газов, паров легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), горючих пыли или волокон с нижним концентрационным пределом воспламенения не более 65 г/м^3 при переходе их во взвешенное состояние, которые при определенной концентрации способны взорваться при возникновении источника инициирования взрыва.

Для эксплуатации во взрывоопасных зонах следует использовать взрывозащищенные электрические машины (см. Справочник, т. 2, часть четвертая).

Выбор по способу монтажа. При выборе двигателя необходимо, чтобы его рабочее положение (горизонтальное, вертикальное, наклонное), способ крепления (к фундаменту, к производственному механизму, встраиваемые и т. д.), исполнение выходного конца вала и их количество соответствовали одному из конструктивных исполнений, приведенных в ГОСТ 2479-79 (см. § 2.4).

Выбор по классу вибрации. В соответствии с рекомендациями ГОСТ 16921-83 для двигателей общего назначения, имеющих исполнения IM1001—IM1081, установлены следующие классы вибрации: $h \leq 80 \text{ мм} - 1,1 \text{ мм/с}$, $80 \leq h < 132 \text{ мм} - 1,8 \text{ мм/с}$, $132 \leq h < 225 - 2,8 \text{ мм/с}$, $h \geq 225 \text{ мм} - 4,5 \text{ мм/с}$.

Для малощумных двигателей и двигателей, используемых в приводах станков повышенной точности и в приводах полиграфических машин, уровень вибрации должен быть на один класс меньше, чем для машин общего назначения. Для указанных высот оси вращения классы вибрации соответствуют 0,7; 1,1; 1,8; и 2,8 мм/с соответственно.

Для специальных и прецизионных приводов с особо жесткими требованиями по вибрации и надежности должны применяться электродвигатели, имеющие уровень вибрации на два класса ниже, чем у двигателей общего назначения. Эти электродвигатели

должны иметь классы вибрации 0,45; 0,7; 1,1 и 1,8 мм/с для $h \leq 80$ мм, $80 \leq h < 132$ мм, $132 \leq h < 225$ мм и $h \geq 225$ мм соответственно.

Выбор по уровню шума. Электрические двигатели в соответствии с ГОСТ 16372-84Е разделены на пять классов: 0, 1, 2, 3, 4.

К классу 0 относятся двигатели, работающие в кратковременном и повторно-кратковременном режимах (S2 — S8 по ГОСТ 183-74), двигатели со способами охлаждения IC03, IC13 (по ГОСТ 20459-75), многоскоростные асинхронные двигатели, асинхронные двигатели с повышенным скольжением и повышенным пусковым моментом.

К классу 1 относятся двигатели постоянного и переменного тока общего назначения.

К классу 2 — двигатели с малощумными подшипниками, малощумными вентиляторами и т. п.

К классу 3 — двигатели с пониженным использованием активных материалов, закрытые, с глушителями вентиляционного шума.

К классу 4 — двигатели со звукоизолирующим кожухом.

Уровни шума, соответствующие каждому классу, приведены в § 1.7. При выборе двигателей по уровню шума следует учитывать нормы шума для производственных помещений, которые оговаривают интегральный допустимый уровень шума всего установленного оборудования. Определение допустимого класса шума электродвигателей представляет поэтому отдельную, сложную задачу.

6.3.2. Выбор электродвигателей по мощности

От правильного выбора электродвигателя по мощности зависят надежность его работы в электроприводе и энергетические показатели в процессе эксплуатации. В тех случаях, когда нагрузка двигателя существенно меньше номинальной, он недоиспользуется по мощности, что свидетельствует об излишних капитальных вложениях, его КПД и коэффициент мощности заметно снижаются.

Если нагрузка превышает номинальную, это приводит к увеличению токов и потерь мощности выше соответствующих номинальных значений, вследствие чего температура (превышение температуры) обмоток и магнитопровода двигателя может превысить допустимое значение. Рост температуры выше заданных значений приводит к резкому ускорению старения изоляции вследствие из-

менения ее физико-химических свойств и соответственно уменьшению срока службы и надежности двигателя в целом, поэтому одним из основных критериев выбора двигателя по мощности является температура (превышение температуры) обмоток.

Задача выбора электродвигателя по мощности осложняется тем обстоятельством, что нагрузка на его валу в процессе работы, как правило, изменяется во времени, вследствие чего изменяются также потери мощности и соответственно температура двигателя. Если при этих условиях выбрать двигатель таким образом, чтобы его номинальная мощность была равна наибольшей мощности нагрузки, он будет недоиспользован по мощности. Очевидно также, что недопустимо выбирать номинальную мощность двигателя равной минимальной мощности нагрузки.

Для обоснованного решения вопроса выбора электродвигателя по мощности необходимо знать характер изменения нагрузки двигателя во времени, т. е. зависимость от времени мощности, электромагнитного момента и потерь двигателя. С этой целью для машин, работающих в циклическом режиме, обычно строится нагрузочная диаграмма, представляющая собой зависимость нагрузки электропривода от времени в течение рабочего цикла.

Зависимость изменения нагрузки от времени позволяет судить об изменениях потерь в электродвигателе, что в свою очередь дает возможность оценить температуру его отдельных частей при известном характере процесса их нагрева.

Этот подход позволяет выбрать двигатель таким образом, чтобы максимальная температура изоляции обмоток не превышала допустимого значения. Это условие является одним из основных для обеспечения надежной работы электродвигателя в течение всего срока его эксплуатации.

Второе условие выбора двигателя заключается в том, что его перегрузочная способность должна быть достаточной для устойчивой работы электропривода в периоды максимальной нагрузки или аварийного снижения напряжения.

Таким образом, для правильного выбора двигателя необходимо знать точную зависимость нагрузки от времени, на базе которой можно рассчитать потери в его отдельных частях. Затем необходимо провести подробный тепловой расчет с учетом в большинстве случаев переходных процессов (пуска, реверса, торможения, перехода от одной нагрузки к другой), на основании которого

можно сделать вывод о том, правильно ли выбран двигатель. Если максимальная температура (превышение температуры) обмоток окажется меньше допустимого, то следует проанализировать возможность применения двигателя меньшей мощности, и наоборот. После теплового расчета двигатель проверяется по условию $M_{н\max} < M_{\max}$, где $M_{н\max}$ — максимальный момент нагрузки; $M_{\max}$ — максимальный электромагнитный момент двигателя.

6.3.3. Выбор электродвигателей для различных режимов работы

Методика выбора электродвигателей для режимов работы S1—S8 подробно описана в [20]. Она базируется на косвенной оценке температурного режима двигателя на базе сопоставления средних (эквивалентных) потерь с допустимыми, которые определяются режимом длительной номинальной нагрузки.

Оценка повышения температуры двигателя через средние суммарные потери $\sum P_{\text{ср}}$ носит название *метода средних потерь*. Условием правильности выбора двигателя в этом случае будет

$$\sum P_{\text{ср}} \leq \sum P_{\text{ном}} \quad (6.1)$$

а сами средние потери за рабочий цикл равны

$$\sum P_{\text{ср}} = \frac{1}{T_{\text{ц}}} \int_0^{T_{\text{ц}}} \sum P(t) dt, \quad (6.2)$$

или для ступенчатого графика нагрузки

$$\sum P_{\text{ср}} = \frac{1}{T_{\text{ц}}} \sum_i P_i t_i, \quad (6.3)$$

где t_i — время работы при нагрузке P_i .

Однако условие (6.1) является средством проверки, а не выбора двигателя, так как значение $\sum P_{\text{ср}}$ определяется не только нагрузкой, но и параметрами двигателя и приводимого механизма. В связи с этим на практике при выборе двигателей по мощности используются методы косвенной оценки потерь, а следовательно, и превышения температуры.

С этой целью вводятся понятия эквивалентных по условиям нагрева величин тока главной цепи двигателя $I_{\text{эк}}$, момента $M_{\text{эк}}$ и мощности $P_{\text{эк}}$. Указанные эквивалентные величины вводятся из условия равенства обусловленных ими тепловых потерь в двигателе и средних за цикл потерь. Как известно, все потери в электрической машине

могут быть разделены на две составные части: не зависящие от нагрузки двигателя постоянные потери k и переменные потери v , обусловленные нагрузкой двигателя. Последние являются электрическими потерями и определяются потерями в активных сопротивлениях главных цепей двигателя (якоря для двигателей постоянного тока и синхронных, статора и ротора для асинхронных). Тогда переменные потери, пропорциональные квадрату тока главной цепи, и потери, обусловленные эквивалентным током двигателя, равны

$$\sum P_{\text{эк}} = k + r I_{\text{эк}}^2.$$

С учетом (6.2), (6.3) можно получить связь между эквивалентным и реальным токами в предположении постоянства активных сопротивлений в виде

$$I_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{1}{T_{\text{ц}}} \int_0^{T_{\text{ц}}} I^2(t) dt};$$

$$I_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{1}{T_{\text{ц}}} \sum_i (I_i^2 t_i)}. \quad (6.4)$$

Полученные значения эквивалентного тока могут использоваться лишь для проверки правильности выбора двигателя по условиям нагрева. Двигатель выбран правильно, если

$$I_{\text{эк}} \leq I_{\text{ном}}, \quad (6.5)$$

где $I_{\text{ном}}$ — значение тока главной цепи двигателя, соответствующее его номинальному режиму.

Если момент двигателя пропорционален току главной цепи ($\Phi = \text{const}$), то вводится понятие эквивалентного момента

$$M_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{1}{T_{\text{ц}}} \int_0^{T_{\text{ц}}} M^2(t) dt};$$

$$M_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{1}{T_{\text{ц}}} \sum_i M_i^2 t_i}. \quad (6.6)$$

Метод эквивалентного момента может быть использован для выбора двигателя, если известна нагрузочная диаграмма электропривода в виде зависимости $M(t)$, а для выбираемого двигателя соблюдаются условия $r = \text{const}$, $\Phi = \text{const}$. Условие правильного выбора по нагреву соблюдается при

$$M_{\text{эк}} \leq M_{\text{ном}}, \quad (6.7)$$

где $M_{\text{ном}}$ — момент двигателя, соответствующий его номинальному режиму.

Когда мощность, развиваемая двигателем, пропорциональна току, т. е. если $\Phi = \text{const}$ и $\omega = \text{const}$, может быть использовано понятие эквивалентной мощности

$$P_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{1}{T_{\text{н}}} \int_0^{T_{\text{н}}} [P(t)]^2 dt};$$

$$P_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{1}{T_{\text{н}}} \sum_i P_i^2 t_i}. \quad (6.8)$$

Метод эквивалентной мощности также используется для выбора двигателя по мощности, если известны нагрузочная диаграмма электропривода в виде зависимости $P(t)$, а для выбираемого двигателя соблюдаются условия $r = \text{const}$, $\Phi = \text{const}$, $\omega = \text{const}$. Условия правильного выбора по нагреву

$$P_{\text{эк}} \leq P_{\text{ном}}, \quad (6.9)$$

где $P_{\text{ном}}$ — мощность, развиваемая двигателем в номинальном режиме.

Когда в процессе работы может иметь место заметное ухудшение теплоотдачи, связанное со снижением частоты вращения электродвигателя, в приведенные формулы эквивалентных величин следует внести коррективы. В соответствии с методикой [20] в этом случае вводится коэффициент ухудшения теплоотдачи $\beta_i = A_i/A$, где A_i и A — теплоотдачи при i -й и номинальной частотах вращения.

Выражения (6.4), (6.6) в этом случае преобразуются к виду

$$I_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{1}{T_{\text{н}}} \frac{\sum (I_i^2 t_i)}{\sum (\beta_i t_i) / \sum t_i}};$$

$$M_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{1}{T_{\text{н}}} \frac{\sum (M_i^2 t_i)}{\sum (\beta_i t_i) / \sum t_i}}. \quad (6.10)$$

Выбор двигателя для работы в режиме S1. Поскольку в этом случае длительность нагрузки существенно больше постоянной нагрева, целесообразно выбирать двигатель, для которого этот режим является номинальным. Иными словами, должны выполняться условия

$$M_{\text{н}} \leq M_{\text{ном}}; P_{\text{н}} \leq P_{\text{ном}}. \quad (6.11)$$

К этому же режиму относят циклическую нагрузку. В случае длительности цикла более 10 мин условия выбора определяются по (6.11). При циклической нагрузке и длительности цикла, не превосходящей постоянную нагрева, условия выбора определяются по (6.7) и (6.9).

Выбранный двигатель должен быть проверен по условиям пуска и перегрузочной способности:

$$M_{\text{п}} > M_{\text{н}}; M_{\text{max}} > M_{\text{н}}. \quad (6.12)$$

Выбор двигателя для работы в режиме S2. Для электроприводов, работающих в режиме S2, нецелесообразно выбирать двигатели, предназначенные для работы в режиме S1, так как последние, как правило, обладают ограниченной перегрузочной способностью, в связи с чем в данном случае они недоиспользуются по нагреву.

При выборе двигателей, предназначенных для работы в режиме S2, приходится сталкиваться с тем, что время работы не совпадает с временем продолжительности кратковременной работы, определяемым стандартом: 10, 30, 60 и 90 мин. Кроме того, нагрузка привода в течение рабочего периода t_p может ступенчато изменяться. В этих случаях рассчитываются эквивалентные величины, которые приводятся к стандартному значению продолжительности кратковременной работы $t_{p, \text{ст}}$, ближайшему к реальному значению t_p .

При выборе двигателя должны соблюдаться следующие условия:

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{эк} t_{p, \text{ст}}} &= \sqrt{(\sum M_i^2 t_i) / t_{p, \text{ст}}} \leq M_{\text{ном} t_{p, \text{ст}}}; \\ P_{\text{эк} t_{p, \text{ст}}} &= \sqrt{(\sum P_i^2 t_i) / t_{p, \text{ст}}} \leq P_{\text{ном} t_{p, \text{ст}}}, \end{aligned} \right\} \quad (6.13)$$

где $M_{\text{ном} t_{p, \text{ст}}}$, $P_{\text{ном} t_{p, \text{ст}}}$ — номинальные значения момента и мощности двигателя, соответствующие продолжительности кратковременной работы $t_{p, \text{ст}}$.

В частном случае, когда нагрузка в течение t_p не изменяется,

$$M_{\text{эк} t_{p, \text{ст}}} = M \sqrt{t_p / t_{p, \text{ст}}},$$

$$P_{\text{эк} t_{p, \text{ст}}} = P \sqrt{t_p / t_{p, \text{ст}}}.$$

Выбранный двигатель также должен быть проверен по условиям пуска и перегрузочной способности в соответствии с (6.12).

Выбор двигателя для работы в режиме S3. Для электроприводов, работающих в режиме S3, целесообразно выбирать двигатели, предназначенные для этого режима. Последовательность расчета в этом случае следующая.

По нагрузочной диаграмме для времени цикла $T_{\text{н}} \leq 10$ мин определяются:

относительная продолжительность включения

$$\text{ПВ} = \frac{\sum t_{pi}}{T_{ц}} 100\%,$$

где t_{pi} — время работы при i -й нагрузке внутри рабочего цикла $T_{ц}$;

приведенные к ближайшему стандартному значению $\text{ПВ}_{\text{СТ}} = 15, 25, 40, 60\%$ эквивалентные значения

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{ЭКПВСТ}} &= \sqrt{\frac{\text{ПВ}}{\text{ПВ}_{\text{СТ}}} \frac{\sum M_i^2 t_{pi}}{\sum t_{pi}}}; \\ P_{\text{ЭКПВСТ}} &= \sqrt{\frac{\text{ПВ}}{\text{ПВ}_{\text{СТ}}} \frac{\sum P_i^2 t_{pi}}{\sum t_{pi}}} \end{aligned} \right\} \quad (6.14)$$

При выборе двигателя должны соблюдаться условия

$$M_{\text{ЭКПВСТ}} \leq M_{\text{НОМПВСТ}}; \quad P_{\text{ЭКПВСТ}} \leq P_{\text{НОМПВСТ}}, \quad (6.15)$$

где $M_{\text{НОМПВСТ}}$, $P_{\text{НОМПВСТ}}$ — номинальные значения момента и мощности двигателя, соответствующие $\text{ПВ}_{\text{СТ}}$.

Выбранный двигатель должен также проверяться по условиям (6.12).

В ряде случаев при больших значениях ПВ ($> 70 \div 80\%$) возможен выбор двигателя, предназначенного для режима S1, для которого следует принять $\text{ПВ} = 100\%$. При этом выражения (6.14) преобразуются соответственно в (6.6) и (6.8).

При идентичных циклах с постоянной нагрузкой внутри рабочего периода формулы (6.14) сводятся к виду

$$\begin{aligned} M_{\text{ЭКПВСТ}} &= M \sqrt{\text{ПВ}/\text{ПВ}_{\text{СТ}}}; \\ P_{\text{ЭКПВСТ}} &= P \sqrt{\text{ПВ}/\text{ПВ}_{\text{СТ}}}. \end{aligned}$$

Выбор двигателя для работы в режимах S4—S8. Для электроприводов, работающих в режимах S4 и S5, выбираются двигатели, предназначенные для режима S3. Выбор в этом случае затрудняется тем, что предварительно точная нагрузочная диаграмма для этих режимов не может быть рассчитана, так как заметную долю потерь составляют потери в переходных процессах. Последние же могут быть рассчитаны только после выбора двигателя.

На практике поступают следующим образом: по диаграмме статических нагрузок определяют эквивалентные приведенные момент или мощность, как и для режима S3. При выборе двигателя по каталогу вводят коэффициент запаса, учитывающий дополнительные потери в переходных процессах. Для выбранного двигателя строят уточненную

нагрузочную диаграмму, по которой осуществляют поверочный расчет. Сравнение производят с каталожными данными для двигателя режима S3.

Часто при выборе двигателя для указанных режимов возникает вопрос о допустимой частоте включений асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. В этом случае выполняется поверочный расчет для определения допустимой частоты включения (точнее, числа рабочих циклов) в час:

$$z_{\text{доп}} = 3600/T_{ц}. \quad (6.16)$$

Для двигателей режима S1 $z_{\text{доп}}$ определяется по формуле

$$\begin{aligned} Z_{\text{доп}} &= \\ &= 36 \frac{\text{ПВ}(\sum P_{\text{НОМ}} - \sum P) + \beta_0 \sum P_{\text{НОМ}}(100 - \text{ПВ})}{\left(\frac{1 - \beta_0}{2} \sum P_{\text{НОМ}} - \sum P\right)(t_{\text{п}} + t_{\text{т}}) + W_{\text{п}} + W_{\text{т}}}; \end{aligned} \quad (6.17)$$

здесь ПВ — относительная продолжительность включения, определяемая для режимов S4 и S5 по ГОСТ 183-74; $\sum P_{\text{НОМ}}$ — суммарные потери в двигателе, соответствующие его номинальному режиму; $\sum P$ — суммарные потери при работе двигателя с установившейся скоростью, определяемые статической нагрузкой; β_0 — коэффициент ухудшения теплоотдачи неподвижного двигателя ($\omega = 0$); $t_{\text{п}}$, $t_{\text{т}}$ — время пуска и торможения электропривода; $W_{\text{п}}$, $W_{\text{т}}$ — энергия потерь в двигателе за периоды пуска и торможения.

В режиме S4 в (6.17) следует принять $t_{\text{т}} = 0$ и $W_{\text{т}} = 0$.

Для двигателей режима S3 номинальная частота включений $z_{\text{НОМ}} = 6 (T_{ц, \text{НОМ}} = 10 \text{ мин})$. В этом случае

$$z_{\text{доп}} = 36 \frac{\sum P_{\text{НОМПВСТ}} \text{ПВ}_{\text{СТ}}}{\sum P_{\text{р.у}} + W_{\text{п}} + W_{\text{т}}}, \quad (6.18)$$

где $\sum P_{\text{НОМПВСТ}}$ — мощность тепловых потерь, соответствующая номинальному режиму при стандартном значении $\text{ПВ}_{\text{СТ}}$, ближайшем к расчетному значению ПВ для режимов S4 или S5; $t_{\text{р.у}}$ — время работы электропривода с установившейся скоростью.

Для некоторых двигателей, допускающих большую частоту включений, в каталогах приводятся значения $z_{\text{НОМ}}$. В этом случае для режима S4 можно принять

$$z_{\text{доп}} \approx z_{\text{НОМ}} \frac{J_{\text{ДВ}}}{J_{\Sigma}} \frac{z_{\text{НОМ}}}{k_J},$$

где $J_{\text{ДВ}}$, J_{Σ} — соответственно момент инерции двигателя и суммарный момент инерции

электропривода; k_J — коэффициент инерции.

Выбор двигателя для работы в режимах S6 и S7. Для работы в режимах S6 и S7 обычно выбираются двигатели, работающие в режиме S1. Расчет эквивалентных величин в этом случае выполняется по (6.6) и (6.8). Для режима S6 по этим формулам может быть осуществлен выбор двигателя, тогда как для режима S7 они используются для проверки выбранного двигателя, так как для этого режима расчет и построение достаточно точной нагрузочной диаграммы до выбора двигателя невозможны. Для обоих указанных режимов обязательна проверка по условиям (6.12).

Выбор двигателя для работы в режиме S8. При работе электропривода в режиме S8, как правило, выбираются двигатели режима S1. В этом случае предварительно расчет мощности двигателя может быть выполнен по (6.6) или (6.8). При выборе его мощности следует ввести коэффициент запаса, учитывающий специфику регулирования скорости электропривода, ухудшение условий охлаждения при снижении скорости, динамические нагрузки при переходе от одной ступени скорости к другой. После выбора двигателя строится уточненная нагрузочная диаграмма, для которой по (6.4) или (6.6) находятся эквивалентные за цикл значения тока или момента.

Частным случаем режима S6 является режим ударной нагрузки, когда момент статической нагрузки резко увеличивается, а затем снижается до момента холостого хода. К механизмам указанного типа могут быть отнесены ковочные машины, прессы, некоторые прокатные станы, поршневые насосы, компрессоры и т. п.

Обычно в электроприводах, работающих с ударной нагрузкой, на валу двигателя устанавливается дополнительный маховик, который берет на себя часть нагрузки при резком ее возрастании. Происходит это вследствие снижения скорости электропривода во время пика нагрузки, благодаря чему часть кинетической энергии, запасенной маховиком, передается на вал электропривода.

В период снижения нагрузки, когда скорость электропривода возрастает, запас кинетической энергии маховика вновь возрастает; двигатель при этом несет нагрузку большую, чем момент сопротивления холостого хода M_{c0} .

Во всех случаях общий принцип совместного выбора двигателя и маховика для механизмов с ударным характером нагрузки заключается в том, что кинетическая энергия

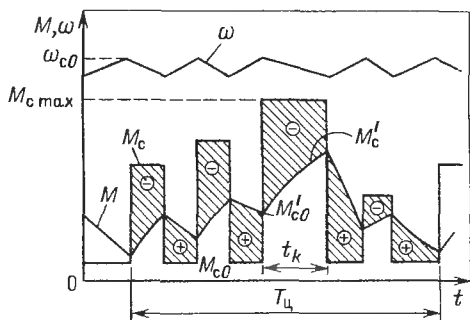


Рис. 6.1. График ударной нагрузки двигателя с маховиком

маховика к началу нового цикла должна оставаться неизменной, а скорость двигателя — постоянной и равной ω_{c0} . В процессе прохождения пиков нагрузки во время цикла маховик отдает энергию на вал (на рис. 6.1 соответствует площади затрихованных участков со знаком «-»), а в период холостого хода, т. е. с увеличением скорости, запасает ее (площадь затрихованных участков со знаком «+»). Энергия, отданная маховиком за цикл, должна быть равна энергии, вновь накопленной маховиком. Если это условие не соблюдается, то в последующие периоды начальная скорость цикла не будет оставаться постоянной, двигатель при этом будет перегружен либо выбран завышенной мощности.

Один из наиболее простых методов совместного предварительного выбора двигателя и маховика заключается в том, что из всего рабочего цикла рассматривается лишь наиболее тяжелый период нагрузки двигателя. На рис. 6.1 он определяется временем t_k . Указанный период характеризуется максимальным статическим моментом M_c , моментом, который развивает двигатель в конце периода, M'_c и начальным моментом двигателя M_{c0} . Для упрощения расчетов обычно полагают $M'_{c0} \approx M_{c0}$.

Для приведенного графика, считая, что при M'_c двигатель должен работать с максимальной перегрузкой, можно записать

$$M'_c = M_{max} = M_{cmax} (1 - e^{-t_k/T_m}) + M_{c0} e^{-t_k/T_m},$$

где M_{max} — максимальный электромагнитный момент двигателя; T_m — электромагнитическая постоянная времени, $T_m = J_\Sigma / \beta = J_\Sigma \omega_0 s_{ном} / M_{ном}$. Найдем момент инерции электропривода:

$$J_{\Sigma} = \frac{M_{\text{ном}} t_{\text{к}}}{\omega_0 s_{\text{ном}} \ln \frac{M_{\text{с max}} - M_{\text{с0}}}{M_{\text{с max}} - M_{\text{max}}}} \quad (6.19)$$

Момент инерции маховика находится из выражения

$$J_{\text{max}} = J_{\Sigma} - J'_{\text{мех}} - J_{\text{дв}},$$

где $J'_{\text{мех}}$ — приведенный к валу двигателя момент инерции механизма.

После соответствующего механического расчета маховика необходимо провести проверку правильности выбора двигателя и маховика, для чего строят графики момента и скорости за цикл, аналогичные приведенным на рис. 6.1. Критерием правильности выбора служат условия

$$M_{\text{нач. ц}} = M_{\text{кон. ц}}; \quad \omega_{\text{нач. ц}} = \omega_{\text{кон. ц}}$$

где $M_{\text{нач. ц}}$, $M_{\text{кон. ц}}$, $\omega_{\text{нач. ц}}$, $\omega_{\text{кон. ц}}$ — соответственно значения момента и скорости в начале и конце цикла.

Для предварительно выбранного двигателя строится нагрузочная диаграмма и производится его проверка по (6.6) или (6.8).

Из (6.19) следует, что момент инерции маховика может быть снижен при увеличении скольжения двигателя $s_{\text{ном}}$. Этим положением часто пользуются, выбирая соответственно двигателя с повышенным скольжением. Возможно и еще одно техническое решение вопроса о повышении скольжения двигателя: при прохождении участков с резким возрастанием нагрузки в роторную цепь двигателя вводится дополнительный резистор, что увеличивает скольжение. На участках с малой нагрузкой резистор выводится, и двигатель работает с малым скольжением и высокой скоростью. Процесс регулирования сопротивления роторной цепи выполняется регуляторами скольжения.

Выбор двигателя для работы в режиме кратковременной нагрузки с малой продолжительностью рабочего цикла. При пуске асинхронного двигателя до 90–95% суммарных потерь выделяется в обмотках, и эти потери идут в основном на увеличение теплосодержания обмоток, что позволяет рассматривать нагрев статора и ротора отдельно без учета их взаимного влияния. При длительности рабочей части периода по крайней мере до 10 с можно считать, что нагрев обмоток является процессом адиабатическим, что позволяет исключить из рассмотрения расчет потерь в сердечниках. Поэтому исходная система неоднородных дифференциальных

уравнений, характеризующая тепловой баланс в двигателе, может быть существенно упрощена и сведена к виду

$$C_1 \frac{d\theta_1}{dt} = P_{31}(t); \quad C_2 \frac{d\theta_2}{dt} = P_{32}(t), \quad (6.20)$$

где C_1 , C_2 — полные теплоемкости статорной и роторной обмоток, Дж/°С; $P_{31}(t)$, $P_{32}(t)$ — электрические потери в этих обмотках во время рабочего цикла, Вт.

Из (6.20) получают превышение температуры к концу цикла работы под нагрузкой в виде

$$\Delta\theta_1 = \frac{1}{C_1} \int_0^t P_{31}(t) dt; \quad \Delta\theta_2 = \frac{1}{C_2} \int_0^t P_{32}(t) dt. \quad (6.21)$$

Электрические потери в обмотках $P_{31}(t)$, $P_{32}(t)$ определяют из системы дифференциальных уравнений двигателя для электро-механического переходного процесса. Превышение температуры, полученное по (6.21), сравнивается с допустимой для изоляции обмотки статора и ротора. Условие правильности выбора двигателя

$$\Delta\theta_1 \leq \Delta\theta_{\text{доп1}}; \quad \Delta\theta_2 \leq \Delta\theta_{\text{доп2}}. \quad (6.22)$$

Кроме того, двигатель должен быть проверен по условию (6.12).

Выбор двигателя для работы в режиме частых реверсов. Критерием правильности выбора является выполнение условия (6.22). При этом превышения температуры должны рассчитываться с учетом конструктивного исполнения машины. Оценка ее теплового состояния может быть сделана по той же методике, что и для режима S1, только потери при реверсах должны определяться в функции мгновенных потерь как среднее интегральное значение за цикл работы. Мгновенные потери определяются через мгновенные значения токов и магнитных индукций, полученные из решения нелинейной системы дифференциальных уравнений, описывающих переходные электро-механические процессы в асинхронном двигателе. Необходимость такого подхода объясняется сложными несинусоидальными законами изменения во времени переменных при реверсах.

Пренебрежение аperiodическими составляющими токов и магнитных потоков приводит к очень большому погрешностям при определении суммарных потерь при переходных процессах. Так, при периодах переключений примерно 0,4 с эта погрешность

доходит до 90%. Погрешности для отдельных составляющих потерь могут достигать 70% даже при времени переключения, достигающем 1,2 с.

Максимальное число реверсов, которое выдерживает серийный асинхронный двигатель, как показали расчеты, не превышает 3600 в час, или 1 реверс в секунду. Если привод требует большего числа реверсов, то для него необходим специально спроектированный двигатель*.

Выбор асинхронного двигателя для режима стохастической нагрузки. Общие принципы и критерии выбора электродвигателей для режимов S1–S8 распространяются и на режим стохастической нагрузки. Различие заключается в том, что нагрузочная диаграмма электропривода в этом случае не может быть выражена в виде определенной детерминированной зависимости $M_n(t)$ и для оценки метода двигателя необходимо пользоваться методами теории случайных процессов.

Определяющими при выборе двигателя для работы при стохастической нагрузке являются вероятностные характеристики момента сопротивления, от которых зависят аналогичные характеристики токов двигателя и превышений температуры его частей. В этом случае оценка теплового состояния двигателя по среднему значению нагрузки приводит к занижению температуры обмоток и погрешность тем больше, чем больше рассеяние (дисперсия) момента сопротивления от его среднего значения.

Для большинства случайных процессов справедливо правило «трех сигм», заключающееся в том, что с большой степенью вероятности можно говорить, что все возможные значения функции $x(t)$ лежат в интервале $-3\sigma_x + m_x, 3\sigma_x + m_x$, где m_x и σ_x — соответственно математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение случайного процесса x . Используя это правило, можно определить наибольшее значение превышения температуры обмотки двигателя:

$$\Delta\theta = \langle\Delta\theta\rangle + 3\sigma_\theta;$$

здесь $\langle\Delta\theta\rangle$ — математическое ожидание превышения температуры; σ_θ — среднее квадратичное отклонение температуры.

Условие (6.22) будет являться критерием правильности выбора электродвигателя при

стохастической нагрузке и неизвестной корреляционной функции случайного процесса. Если можно получить корреляционную функцию, то $\Delta\theta = \langle\Delta\theta\rangle + k\sigma_\theta$. Здесь $k = 0 \div 3$ — коэффициент, учитывающий тепловую инерционность двигателя, интервал корреляции τ и внутреннюю структуру случайного процесса изменения $\Delta\theta(t)$, который вследствие большой постоянной времени нагрева двигателя имеет закон распределения, приближающийся к нормальному.

Проверку правильности выбора электродвигателя по условиям нагрева для значений эквивалентного момента или эквивалентной мощности можно произвести по (6.7) и (6.9) с учетом того, что $M_{\text{ЭК}}$ и $P_{\text{ЭК}}$ определяются следующим образом:

$$M_{\text{ЭК}} = \sqrt{\langle(M)\rangle^2 + \sigma_M^2}; \quad P_{\text{ЭК}} = \sqrt{\langle(P)\rangle^2 + \sigma_P^2},$$

где $\langle M \rangle$, $\langle P \rangle$ — математические ожидания соответственно момента и мощности; σ_M и σ_P — их среднее квадратичные отклонения.

Можно также вычислять $M_{\text{ЭК}}$ и $P_{\text{ЭК}}$ соответственно по формулам (6.6) и (6.8), которые справедливы для эргодических процессов $M^2(t)$ и $P^2(t)$, имеющих место во многих случаях при продолжительной работе электродвигателя на случайную нагрузку. Для эргодических случайных процессов характерно то, что они определяются по одной реализации, т. е. для таких процессов при нахождении вероятностных характеристик усреднение по ансамблю реализаций заменяется усреднением во времени.

При больших размахах колебаний случайной составляющей процесса относительно среднего момента первостепенное значение приобретает перегрузочная способность двигателя. В этом случае важным критерием правильности его выбора является максимальный вращающий момент

$$M_{\text{max}} \geq M_{\text{н max}}. \quad (6.23)$$

Так как в режиме случайного нагружения M_{max} также представляет случайный процесс, то для того чтобы условие (6.23) выполнялось с большой долей вероятности, необходимо M_{max} вычислять с учетом одностороннего доверительного интервала, причем в сторону уменьшения среднего значения M_{max} :

$$M_{\text{max}} = \langle M_{\text{max}} \rangle - k\sigma_{M_{\text{max}}}.$$

Аналогичными соотношениями оценивается и пусковой момент двигателя при анализе условий пуска.

* Электромеханические процессы в асинхронном двигателе в режиме частых реверсов / В. Я. Беспалов и др. // Электричество. 1985. № 1. С. 62–64.

6.4. Основные причины отказов электрических машин

6.4.1. Виды неисправностей и причины их появления

Электрические машины чаще всего повреждаются из-за недопустимо длительной работы без ремонта (износ), из-за плохого хранения и обслуживания, из-за нарушения режима работы, на который они рассчитаны. Все отказы можно разделить на две категории (по причине, повлекшей отказ) — электрические, механические.

К электрическим отказам относятся отказы по причине пробоя изоляции на корпус и между фазами, обрыва проводников в обмотке, замыкания между витками обмотки, нарушения контактов и соединений (паяных и сварных), недопустимого снижения сопротивления изоляции вследствие ее старения или чрезмерного увлажнения, нарушения межлистовой изоляции магнитопроводов, чрезмерного искрения в коллекторных машинах.

К механическим отказам относятся отказы по причине выплавки баббита в подшипниках скольжения, разрушения сепаратора, шариков или роликов в подшипниках качения, деформации вала ротора, образования глубоких дорожек на поверхности коллектора или контактных колец, ослабления крепления сердечников полюсов и статоров к станине, обрыва бандажей или их сползания, ослабления прессовки сердечников, ухудшения охлаждения машины из-за засорения охлаждающих каналов.

Неисправности и повреждения электрических машин, вызывающие отказ, не всегда удается обнаружить путем внешнего осмотра, так как некоторые из них (в основном электрические) носят скрытый характер и могут быть обнаружены только после соответствующих испытаний и разборки машины. Работа по предремонтному выявлению неисправностей и повреждений электрических машин называется дефектацией.

Рассмотрим характерные причины отказов электрических машин.

Пробой изоляции обмотки ротора на корпус приводит к медленному увеличению частоты вращения при пуске асинхронного двигателя. Ротор сильно нагревается даже при небольшой нагрузке. К тем же явлениям приводит нарушение изоляции между контактными кольцами и валом ротора.

Пробой изоляции между фазами приводит к короткому замыканию в обмотке. При коротком замыкании обмотки статора на-

блюдаются сильные вибрации двигателя переменного тока, которые прекращаются после отключения его от сети, сильное гудение, несимметрия токов в фазах, быстрый нагрев отдельных участков обмотки. В случае короткого замыкания обмотки фазного ротора наблюдается такой же эффект, как при нарушении изоляции между контактными кольцами и валом.

Обрыв проводников обмотки статора асинхронного двигателя вызывает несимметрию токов и быстрый нагрев одной из фаз (в крайнем режиме — обрыв фазы, ротор не вращается или его частота вращения мала, наблюдается сильный шум и быстрый нагрев двигателя).

Обрыв стержня короткозамкнутой обмотки ротора приводит к повышенным вибрациям, уменьшению частоты вращения под нагрузкой, пульсациям тока статора последовательно во всех фазах.

Витковое короткое замыкание обмотки статора или ротора приводит к чрезмерному нагреву электрической машины при номинальной нагрузке.

Нарушение контактов, паяных или сварных соединений в асинхронных двигателях эквивалентно по своему проявлению обрыву витков, стержней короткозамкнутых обмоток или фазы обмотки в зависимости от места нахождения данного соединения. Нарушение контакта в цепи щеток приводит к повышенному искрению между контактными кольцами и щетками.

Недопустимое снижение сопротивления изоляции может быть следствием сильного загрязнения изоляции, увлажнения и частичного разрушения, вызванных старением изоляции.

Нарушение межлистовой изоляции сердечников магнитопроводов приводит к недопустимому повышению температуры отдельных участков магнитопровода и всего магнитопровода в целом, повышенному нагреву обмоток, выгоранию части магнитопровода (пожар в стали).

Выплавка баббита в подшипниках скольжения и чрезмерный износ подшипников качения приводят к нарушению соосности валов электрической машины и механизма, к появлению эксцентриситета ротора. Выплавка баббита вызывает повышение вибраций электрической машины, которые не исчезают после отключения ее от сети. Износ подшипников качения приводит к появлению больших сил одностороннего притяжения, в результате чего двигатель не развивает номинальной скорости, а его работа сопровождается сильным гудением. Повышенные

вибрации могут являться также следствием нарушения уравновешенности вращающихся частей (ротора, полумуфт или шкива).

Деформация вала ротора приводит к появлению эксцентриситета ротора и больших сил одностороннего притяжения.

Ослабление крепления полюсов и сердечников статоров приводит к повышенным вибрациям, исчезающим после отключения машины от сети.

Ослабление крепления листов магнитопровода вызывает шум и повышенные вибрации двигателя.

Засорение охлаждающих (вентиляционных) каналов приводит к недопустимому нагреву электрической машины или отдельных ее частей.

Выработка коллектора и контактных колец приводит к ухудшению коммутации, быстрому износу щеток и повышенному нагреву контактных колец и коллектора.

Как видно из анализа приведенных возможных неисправностей электрических машин и их влияния на рабочие свойства машин, одни и те же эффекты могут быть вызваны различными причинами. Это часто не позволяет однозначно назвать неисправность электрической машины по ее внешнему проявлению, а вынуждает ограничиться перечнем возможных неисправностей, которые будут уточняться при дефектации с целью последующего их устранения.

6.4.2. Выбор защиты электродвигателей

Правильный выбор и настройка защиты электродвигателей позволяют продлить ресурс их работы, обеспечить безаварийную работу и повысить их надежность в эксплуатации. Однако применение защиты удорожает двигатель, поэтому выбор типа и количества защит определяется не только технической, но и экономической целесообразностью их установки.

Предусматриваются следующие виды защиты электродвигателей напряжением до 1000 В:

1) защита от многофазных коротких замыканий и от минимального напряжения, а в сетях с глухозаземленной нейтралью — дополнительно от однофазных замыканий для двигателей переменного тока;

2) защита от коротких замыканий и от недопустимого повышения частоты вращения для двигателей постоянного тока;

3) защита от перегрузки для всех двигателей;

4) защита от асинхронного режима для синхронных двигателей.

Для электродвигателей переменного тока напряжением свыше 1000 В дополнительно предусматриваются следующие виды защиты:

1) защита, действующая на сигнал и отключение при повышении температуры смазки или прекращении ее циркуляции для электродвигателей, имеющих принудительную смазку подшипников;

2) защита, действующая на сигнал и отключение при повышении температуры или прекращении вентиляции для электродвигателей, имеющих принудительную вентиляцию;

3) защита, действующая на сигнал при снижении циркуляции воды ниже заданного значения и на отключение при прекращении ее циркуляции для электродвигателей с водяным охлаждением обмоток и активной стали, а также имеющих встроенные воздухоохладители, охлаждаемые водой;

4) общая защита от многофазных замыканий для блоков трансформатор (автотрансформатор) — двигатель;

5) на синхронных электродвигателях должно предусматриваться автоматическое гашение поля. При этом для синхронных двигателей мощностью менее 500 кВт автоматического гашения поля, как правило, не требуется.

Для защиты электродвигателей от коротких замыканий должны применяться предохранители или автоматические выключатели.

Защита от перегрузки должна устанавливаться в случаях, когда возможна перегрузка механизма по технологическим причинам, а также при тяжелых условиях пуска для ограничения длительности пуска при пониженном напряжении. Защита должна выполняться с выдержкой времени и может быть осуществлена тепловыми реле. Защита должна действовать на отключение, или на сигнал, или на разгрузку, если последняя возможна.

Для двигателей с повторно-кратковременным режимом работы применение этой защиты не требуется.

Защита от минимального напряжения должна устанавливаться: для двигателей постоянного тока, которые не допускают непосредственного включения в сеть; для электродвигателей механизмов, самозапуск которых после останова недопустим по условиям технологического процесса или по условиям безопасности; на многоскоростных двигателях ответственных механизмов, самозапуск которых допустим и целесообразен; защита от минимального напряжения

должна автоматически переключать двигатель на низшую скорость.

Защита от асинхронного режима синхронных двигателей должна, как правило, осуществляться с помощью защиты от перегрузки по току статора для двигателей напряжением до 1000 В. Для двигателей с на-

пряжением выше 1000 В защита может осуществляться с помощью реле, реагирующего на увеличение тока в обмотках статора.

Она должна быть отстроена по времени от пускового режима и от тока при действии форсировки возбуждения.

РАЗДЕЛ 7

ОРГАНИЗАЦИЯ И НОРМЫ РЕМОНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

7.1. Общие вопросы ремонта электрических машин

Важнейшим условием правильной эксплуатации электрических машин является своевременное проведение планово-предупредительных ремонтов и периодических профилактических испытаний. Основные организационные и технические положения по эксплуатации электротехнического оборудования, и в частности электрических машин, изложены в [14, 16, 19].

Наряду с повседневным уходом и осмотром электрических машин в соответствии с системой планово-предупредительных ремонтов через определенные промежутки времени проводят плановые профилактические осмотры, проверки (испытания) и различные виды ремонта. С помощью системы планово-предупредительных ремонтов электрические машины поддерживают в состоянии, обеспечивающем их нормальные технические параметры, частично предотвращают случаи отказов, улучшают технические параметры машин при плановых ремонтах в результате модернизации. В настоящее время в соответствии с ГОСТ 18322-78 используют два вида ремонта — текущий и капитальный, хотя для отдельных видов электрооборудования предусматривается и средний ремонт.

Период между двумя плановыми капитальными ремонтами называется ремонтным циклом. Для вновь вводимых в эксплуатацию электрических машин ремонтный цикл — это наработка от ввода в эксплуатацию до первого планового капитального ремонта.

Существуют три формы организации ремонтов — централизованная, децентрализованная, смешанная. При централизованной форме ремонт, испытание и наладка элек-

трических машин производятся специализированными ремонтно-наладочными организациями. Эта форма является наиболее прогрессивной, так как обеспечивает минимальную стоимость ремонта при более высоком качестве.

При децентрализованной форме ремонт, испытания и наладка производятся ремонтными службами производственных подразделений предприятий, при смешанной часть работ выполняется централизованно, часть — децентрализованно, причем степень централизации зависит от характера предприятия, типа и мощности электрооборудования.

С увеличением количества специализированных ремонтных предприятий и их мощности улучшается качество ремонтных работ, уменьшаются их себестоимость и сроки ремонта, что делает централизованный ремонт все более выгодным как для отдельных промышленных предприятий, так и для народного хозяйства страны в целом. Усовершенствование централизованного ремонта предполагает создание централизованного обменного фонда электрических машин и расширение их номенклатуры, распространение сферы услуг ремонтных предприятий на производство текущих ремонтов и профилактического обслуживания.

Продолжительность ремонтного цикла определяется условиями эксплуатации, требованиями к показателям надежности, ремонтпригодностью, правилами технической эксплуатации, инструкциями завода-изготовителя. Обычно ремонтный цикл исчисляется в календарном времени исходя из 8-часового рабочего дня при 41-часовой рабочей неделе. Реальная сменность работы оборудования и сезонность его работы учитываются соответствующими коэффициентами.

При определении продолжительности

ремонтного цикла исходят из графика распределения отказов электрических машин в функции времени эксплуатации, приведенного на рис. 1.9. На нем можно выделить три области: область I — послеремонтная приработка, когда вероятность отказов повышена за счет возможного применения при ремонте некачественных узлов, деталей и материалов, несоблюдения технологии ремонта и т. д.; область II — нормальный этап работы электрических машин с практически неизменным числом отказов во времени; область III — старение отдельных узлов электрической машины, характеризующееся ростом числа отказов.

Длительность ремонтного цикла не должна превышать длительности нормального этапа работы II. При планировании структуры ремонтного цикла (виды и последовательность чередования плановых ремонтов) исходят из того, что в электрической машине наряду с быстроизнашивающимися деталями (щетки, подшипники качения, контактные кольца), восстановление которых производится их незначительным ремонтом или заменой на новые, имеются узлы с большим сроком наработки (обмотки, механические детали, коллекторы), ремонт которых достаточно трудоемок и занимает много времени, поэтому в течение наработки между капитальными ремонтами электрические машины должны пройти несколько текущих ремонтов.

Текущие ремонты, как правило, не нарушают ритма производства, в то время как капитальный ремонт при отсутствии резерва связан с приостановкой производства (технологического процесса). Поэтому межремонтный период для электрических машин следует приравнивать к межремонтному периоду основного технологического оборудования, если последний оказывается меньшим.

Для электрических машин массового применения, не отнесенных к основному оборудованию и имеющих достаточный резерв, можно перейти от системы планово-предупредительного ремонта к послеотказовой системе ремонта. Целесообразность такого перехода должна подтверждаться технико-экономическим анализом.

Продолжительность T ремонтного цикла, а также продолжительность межремонтного периода t определяют, исходя из нормальных условий эксплуатации при двухсменной работе по данным, приведенным в табл. 7.1 ($T_{\text{табл.}}$, $t_{\text{табл.}}$). Для коллекторных машин постоянного и переменного тока приведенные в табл. 7.1 продолжительности ремонтного цикла и межремонтного периода

Таблица 7.1

Условия работы электрических машин	Коэффициент спроса K_c	$T_{\text{табл.}}$ лет	$t_{\text{табл.}}$ мес
Сухие помещения	0,25	12	12
Горячие гальванические, химические цехи	0,45	4	6
Загрязненные участки — деревообрабатывающие, сухой шлифовки и др.	0,25	6	8
Длительные циклы непрерывной работы с высокой степенью загрузки — приводы насосов, вентиляторов, компрессоров, кондиционеров и др.	0,75	9	9

уменьшают путем введения коэффициента $\beta_k = 0,75$.

Величины T и t зависят также от сменности работы электрических машин, коэффициента использования, характера работы (передвижные или стационарные установки, основное или вспомогательное оборудование).

Плановую продолжительность ремонтного цикла $T_{\text{пл}}$ и межремонтного периода $t_{\text{пл}}$ определяют по формулам

$$T_{\text{пл}} = T_{\text{табл.}} \beta_k \beta_p \beta_n \beta_0 \beta_{\text{ст}};$$

$$t_{\text{пл}} = t_{\text{табл.}} \beta_k \beta_p \beta_n \beta_0 \beta_{\text{ст}},$$

где $T_{\text{табл.}}$, $t_{\text{табл.}}$ — по данным табл. 7.1; $\beta_k = 0,75$ для коллекторных машин (для остальных машин $\beta_k = 1$); β_p — коэффициент, определяемый сменностью работы оборудования $K_{\text{см}}$ и приведенный в табл. 7.2; β_n — коэффициент использования, определяемый в зависимости от отношения фактического коэффициента спроса $K_{\text{ф.с}}$ к табличному K_c (табл. 7.1) и приведенный в табл. 7.2; $\beta_0 = 0,85$, $\beta'_0 = 0,7$ — коэффициенты, учитывающие, что машины отнесены к основному оборудованию (для машин вспомогательного оборудования $\beta_0 = \beta'_0 = 1,0$); $\beta_{\text{ст}} = 0,6$ — коэффициент стационарно-

Таблица 7.2

$K_{\text{ф.с}}/K_c$	0,5	0,75	1,0	1,1	1,2	1,3	—
β_n	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	—
$K_{\text{см}}$	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3,0
β_p	2	1,6	1,35	1,13	1	0,8	0,67

сти, учитывающий, что электрические машины работают на передвижной установке (для стационарных установок $\beta_{ст} = 1,0$).

7.2. Объем работ по техническому обслуживанию и ремонту

Система планово-предупредительного ремонта предусматривает техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонты, профилактические и послеремонтные испытания. В связи с большим разнообразием находящихся в эксплуатации электрических машин невозможно дать полный перечень работ по каждому из составляющих этой системы (кроме испытаний), поэтому ограничимся типовыми объемами работ. Перед ремонтом проводятся испытания электрических машин для выявления и последующего устранения дефектов.

Типовой объем работ по техническому обслуживанию включает: ежедневный надзор за выполнением правил эксплуатации и инструкций завода-изготовителя (контроль нагрузки, температуры отдельных узлов электрической машины, температуры охлаждающей среды при замкнутой системе охлаждения, наличия смазки в подшипниках, отсутствия ненормальных шумов и вибраций, чрезмерного искрения на коллекторе и контактных кольцах и др.); ежедневный контроль за исправностью заземления; контроль за соблюдением правил техники безопасности работающими на электрооборудовании; отключение электрических машин в аварийных ситуациях; мелкий ремонт, осуществляемый во время перерывов в работе основного технологического оборудования и не требующий специальной остановки электрических машин (подтяжка контактов и креплений, замена щеток, регулирование траверс, подрегулировка пускорегулирующей аппаратуры и системы защиты, чистка доступных частей машины и т. д.); участие в прямо-сдаточных испытаниях после монтажа, ремонта и наладки электрических машин и систем их защиты и управления; плановые осмотры эксплуатируемых машин по утвержденному главным энергетиком графику с заполнением карты осмотра.

Типовой объем работ при текущем ремонте включает: производство операций технического обслуживания; отключение от питающей сети и отсоединение от приводного механизма (двигателя); очистку внешних поверхностей от загрязнений; разборку электрической машины в нужном для ремонта

объеме; проверку состояния подшипников, промывку их, замену подшипников качения, если зазоры в них превышают допустимые, проверку и ремонт системы принудительной смазки, замену смазки; проверку, очистку и ремонт крепления вентилятора, проверку и ремонт системы принудительной вентиляции; осмотр, очистку и продувку сжатым воздухом обмоток, коллектора, вентиляционных каналов; проверку состояния и надежности крепления лобовых частей обмоток, устранение выявленных дефектов; устранение местных повреждений изоляции обмоток, сушку обмоток, покрытие лобовых частей обмоток покровным лаком; проверку и подтяжку крепежных соединений и контактов с заменой дефектных крепежных деталей; проверку и регулировку щеткодержателей, траверс, короткозамыкающих устройств, механизма подъема щеток; зачистку и шлифовку коллектора и контактных колец, продоразживание коллектора; проверку состояния и правильности обозначений выводных концов обмоток и клеммных колодок с необходимым ремонтом; замену фланцевых прокладок и уплотнений; проверку герметичности взрывозащищенных машин; сборку машины и проверку защитного заземления; присоединение машины к сети и проверку ее работы на холостом ходу и под нагрузкой; устранение повреждений окраски; проведение прямо-сдаточных испытаний и оформление сдачи машины в эксплуатацию.

Типовой объем работ при капитальном ремонте включает: производство операций текущего ремонта; проверку осевого разбега ротора и радиальных зазоров подшипников скольжения с последующей перезаливкой вкладышей; замену подшипников качения; полную разборку машины с чисткой и промывкой всех механических деталей; замену дефектных обмоток (включая ремонт короткозамкнутых обмоток)*, очистку и продувку сохраняемых обмоток; пропитку и сушку обмоток, покрытие лобовых частей обмоток покровными лаками и эмальями; ремонт коллекторов, контактных колец и щеточных узлов (вплоть до их замены на новые); ремонт магнитопровода статора и ротора, включая частичную замену листов; восстановление прессовки магнитопроводов; ремонт подшипниковых щитов, корпуса, восстановление размеров посадочных мест; ремонт вала; ремонт или замену вентилятора; замену неис-

* Обмотки из прямоугольного провода ремонтируются с использованием старого провода. Круглый провод повторно, как правило, не используется.

правных пазовых клиньев, различных изоляционных деталей; маркировку выводных концов в соответствии с ГОСТ 183-74; сборку и окраску машины; проведение приемосдаточных испытаний и оформление сдачи машины в эксплуатацию.

7.3. Испытание электрических машин при ремонте

После ремонта электрические машины подвергаются испытаниям на ремонтном предприятии, объем которых зависит от типа машины и вида проведенного ремонта. Заключение о пригодности к эксплуатации дается не только на основании сравнения результатов испытания с нормами, но и по совокупности результатов проведенных испытаний и осмотров. Значения полученных при испытаниях параметров должны быть сопоставлены с исходными, а также с результатами предыдущих испытаний электрической машины.

Под исходными значениями понимают значения, указанные в паспорте машины и (или) в протоколах испытаний завода-изготовителя. При отсутствии таких значений в качестве исходных могут быть приняты значения параметров, полученные при приемосдаточных испытаниях или испытаниях по окончании восстановительного ремонта электрической машины.

По изложенной далее программе испытываются и электрические машины производства иностранных фирм после истечения гарантийного срока эксплуатации.

Программа испытаний двигателей переменного тока после капитального ремонта, производимого в сроки, устанавливаемые системой планово-предупредительных ремонтов (для двигателей ответственных механизмов и работающих в тяжелых условиях — не реже одного раза в 2 года), содержит следующие пункты [14]:

1. Испытание стали статора двигателей с обмотками из прямоугольного провода (удельные потери — не более 5 Вт/кг, наибольшее превышение температуры зубцов при $B_z = 1$ Тл не должно превышать 45°C, наибольшая разность превышений температуры различных зубцов при той же индукции — не более 30°C).

2. Измерение сопротивления изоляции обмоток статора, ротора, элементов термоэлектрических преобразователей с соединительными проводами (если они имеются в данной машине) и подшипников (сопротивление обмотки статора в холодном состоянии — не менее 1 МОм, для двигателей с напряжением до 0,66 кВ — не менее 0,5 МОм при 60°C, для двигателей напряжением выше 0,66 кВ сопротивление изоляции обмотки статора не нормируется; не нормируются также сопротивления изоляции обмоток ротора, термопреобразователей и подшипников).

3. Испытание обмоток статора и ротора повышенным напряжением промышленной частоты на полностью собранном двигателе. Длительность испытания — 1 мин. Испытательные напряжения приведены в табл. 7.3—7.7. Результаты испытаний

Таблица 7.3. Испытательное напряжение при ремонте обмоток статора из прямоугольного провода (двигатели переменного тока)

Испытуемый элемент	Испытательное напряжение, кВ, для электродвигателей на номинальное напряжение, кВ							
	до 0,66	2	3	6	10	3	6	10
	мощностью до 1000 кВт					мощностью свыше 1000 кВт		
Отдельная катушка (стержень) перед укладкой	4,5	11	13,5	21,1	31,5	13,5	23,5	34
Обмотка после укладки в пазы до пайки межкатушечных соединений	3,5	9,0	11,5	18,5	29	11,5	20,5	30
Обмотки после пайки и изолировки соединений	3,0	6,5	9,0	15,8	25	9	18,5	27
Главная изоляция обмотки собранной машины	$2U_{ном} + 1$ (но не менее 1,5 кВ)	5,0	7,0	13,0	21	7	15,0	23

Таблица 7.4. Испытательное напряжение при ремонте обмоток ротора асинхронных двигателей

Испытуемый элемент	Испытательное напряжение, кВ
Полная замена обмотки:	
отдельные стержни до укладки в пазы	$2U_p + 3,0$
стержни после укладки в пазы до соединения	$2U_p + 2,0$
обмотка после соединения, пайки и наложения бандажа	$2U_p + 1,0$
контактные кольца до соединения с обмоткой	$2U_p + 2,2$
Частичная замена обмотки:	
оставшаяся часть обмотки после выемки заменяемых катушек, секций или стержней	$2U_p$ (но не менее 1,2 кВ)
вся обмотка после присоединения новых катушек, секций или стержней	$1,7U_p$ (но не менее 1 кВ)

Примечание. Под U_p понимается напряжение на кольцах неподвижного ротора с разомкнутой обмоткой при номинальном напряжении на статоре.

Таблица 7.5. Испытательные напряжения при ремонте обмоток из круглого провода (двигатели переменного тока)

Испытуемый элемент	Испытательное напряжение, кВ, при мощности двигателя, кВт	
	0,2—10	10,1—1000
Обмотки после укладки в пазы до пайки межкатушечных соединений	2,5	3,0
Обмотки после пайки и изолировки межкатушечных соединений	2,3	2,7
Обмотки после пропитки и запрессовки обмотанного сердечника	2,2	2,5
Главная изоляция обмотки собранного двигателя переменного тока	$2U_{ном} + 1$ кВ (но не менее 1,5 кВ)	

Таблица 7.6. Испытательное напряжение при капитальном ремонте двигателей без замены обмоток

Испытуемый элемент	Испытательное напряжение, кВ
Обмотка статора двигателя мощностью 40 кВт и более и двигателя ответственного механизма с номинальным напряжением до 0,4; 0,5; 0,66; 2; 3; 6; 10 кВ (проводится сразу после останова двигателя до очистки его от загрязнений)	1; 1,5; 1,7; 4; 5; 10; 16
Обмотка статора двигателя мощностью менее 40 кВт с номинальным напряжением до 0,66 кВ	1,0
Обмотка ротора синхронного двигателя с непосредственным пуском и с обмоткой возбуждения, замкнутой на резистор или источник питания	1,0
Фазная обмотка ротора асинхронного двигателя	$1,5U_p$ (но не менее 1,0 кВ)
Резисторы в цепи гашения поля (синхронные двигатели)	2,0
Реостаты и пускорегулирующие резисторы	$1,5U_p$ (но не менее 1,0 кВ)

Таблица 7.7. Испытательное напряжение при частичной замене обмотки статора

Испытуемый элемент	Испытательное напряжение, кВ
Запасные катушки, секции или стержни до укладки	$2,25U_{\text{ном}} + 2$
То же после укладки в пазы до соединения со старой, частью обмотки	$2U_{\text{ном}} + 1$
Оставшаяся (старая) часть обмотки	$2U_{\text{ном}}$
Главная изоляция обмотки полностью собранного двигателя	$1,7U_{\text{ном}}$

считаются положительными, если не наблюдалось скользящих разрядов, толчков тока утечки или нарастания его установившегося значения, пробоев или перекрытий и если сопротивление изоляции, измеренное мегаомметром после испытаний, осталось прежним.

4. Измерение сопротивления обмоток статора и ротора постоянному току (проводится для двигателей мощностью 300 кВт и более или для двигателей с $U_{\text{ном}} > 3$ кВ), а также сопротивления постоянному току реостатов и пускорегулирующих резисторов. Отклонения значений сопротивления обмоток от паспортных и по фазам — не более $\pm 2\%$, для реостатов — не более $\pm 10\%$.

5. Испытание витковой изоляции обмоток из прямоугольного провода импульсным напряжением высокой частоты в течение 5—10 с. Испытательные напряжения приведены в табл. 7.8.

6. Измерение воздушного зазора (если позволяет конструкция) в четырех сдвинутых на 90° точках. Измеренные зазоры не должны отличаться от среднего более чем на 10% .

7. Измерение зазоров в подшипниках скольжения (допустимые значения зазоров приведены в табл. 7.9); если зазор больше допустимого, необходимо перезалить вкладыш подшипника.

Таблица 7.8. Импульсное испытательное напряжение витковой изоляции обмоток статора двигателей переменного тока

Тип изоляции витков	Амплитуда напряжения, В	
	до укладки секций в пазы	после укладки и наложения бандажа
Провод ПБО	210	180
Провод ПБД, ПДА, ПСД	420	360
Провод ПБД с однослойной изоляцией из бумажной ленты вполнахлеста	700	600
Провод ПБД и ПДА с изоляцией слоем микаленты через виток	700	600
Провод ПБД и ПДА с прокладками миканита в пазовой части между витками	1000	850
Провод с однослойной изоляцией микалентой толщиной 0,13 мм вполнахлеста	1100	950
Провод ПБД с однослойной изоляцией шелковой лакотканью толщиной 0,1 мм вполнахлеста	1400	1200
Провод ПБД и ПДА с однослойной изоляцией микалентой толщиной 0,13 мм вполнахлеста или 1/3 нахлеста	1400	1200
Провод ПБД или ПДА с однослойной изоляцией микалентой толщиной 0,13 мм вполнахлеста и сверху одним слоем хлопчатобумажной ленты впритык	2100	1800
Провод ПДА, изолированный двумя слоями микаленты толщиной 0,13 мм вполнахлеста	2800	2400

Таблица 7.9. Максимально допустимые зазоры в подшипниках скольжения

Номинальный диаметр вала, мм	Зазор, мкм, при частоте вращения, об/мин		
	до 1000	1000—1500	свыше 1500
18—30	40—93	60—130	140—280
31—50	50—112	75—160	170—340
51—80	65—135	95—195	200—400
81—120	80—160	120—235	230—460
121—180	100—195	150—285	260—530
181—260	120—225	180—300	300—600
261—360	140—250	210—380	340—680
361—600	170—305	250—440	380—760

8. Проверка работы двигателя на холостом ходу (для двигателей мощностью 100 кВт и более, напряжением 3 кВ и выше). Ток холостого хода не должен отличаться более чем на 10% от указанного в каталоге. Продолжительность испытания 1 ч.

9. Измерение вибрации подшипников (для двигателей напряжением 3 кВ и выше и двигателей ответственных механизмов). Максимально допустимые амплитуды вибраций равны: для двигателей с $n = 3000$ об/мин — 50 мкм, 1500 об/мин — 100 мкм, 1000 об/мин — 130 мкм, 750 об/мин и менее — 160 мкм.

10. Измерение разбега ротора в осевом направлении (для двигателей с подшипниками скольжения, двигателей ответственных механизмов и при выемке ротора при ремонте). Допустимый разбег — не более 4 мм.

11. Проверка работы двигателя (напряжением свыше 1 кВ или мощностью 300 кВт и более) под нагрузкой. Нагрузка — не менее 50% номинальной.

12. Гидравлическое испытание воздухоохладителя проводится в течение 5—10 мин избыточным давлением 0,2—0,25 МПа.

13. Проверка исправности стержней короткозамкнутых обмоток роторов электро-двигатель мощностью 100 кВт и более (все стержни должны быть целыми).

14. Проверка срабатывания защиты машин напряжением до 1000 В при питании от сети с заземленной нейтралью (проводится у машин с $U_{ном} > 42$ В, работающих в опасных и особо опасных условиях, а также у машин с $U_{ном} \geq 380$ В).

При текущих ремонтах двигателей переменного тока нормы регламентируют проведение испытаний (проверок) по пп. 2 (обмотки статора и ротора) и 14.

Программа испытаний машин постоянного тока после капитального ремонта производится в сроки, устанавливаемые системой планово-предупредительного ремонта (для двигателей ответственных механизмов и работающих в тяжелых условиях — не реже 1 раза в 2 года), и содержит 7 пунктов:

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток и бандажей (сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм).

2. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты. Длительность испытания 1 мин, величины испытательных напряжений приведены в табл. 7.10. Эти испытания не производятся для машин мощностью до 200 кВт на напряжение до 440 В.

3. Измерение сопротивления обмоток, реостатов и пускорегулирующих резисторов постоянному току в практически холодном состоянии. Значения сопротивлений обмоток возбуждения не должны отличаться от за-

Таблица 7.10. Испытательное напряжение для изоляции машин постоянного тока

Испытуемый элемент	Испытательное напряжение, кВ
Обмотки машин мощностью свыше 3 кВт на номинальное напряжение до 100 В	$1,6U_{ном} + 0,8$
Обмотки машин на номинальное напряжение свыше 100 В: мощностью до 1000 кВт	$1,6U_{ном} + 0,8$ (но не менее 1,2 кВ)
мощностью свыше 1000 кВт	$1,6U_{ном} + 0,8$
Обмотки возбудителей (мощностью свыше 3 кВт) синхронных генераторов	$8U_{ном}$ (но не менее 1,2 кВ и не более 2,8 кВ)
Обмотки возбудителей (мощностью свыше 3 кВт) синхронных двигателей и компенсаторов	$8U_{ном}$ (но не менее 1,2 кВ)
Бандажи якоря машин мощностью свыше 3 кВт	1,0
Реостаты и пускорегулирующие резисторы (допускается испытание совместно с изоляцией цепей возбуждения)	1,0

водских значений более чем на $\pm 2\%$, обмотки якоря — более чем на $\pm 10\%$. В цепях реостатов и пускорегулирующих резисторов не должно быть обрыва.

4. Снятие характеристик холостого хода и испытание витковой изоляции. Характеристика холостого хода снимается только у генераторов; максимальное напряжение — до $1,3U_{\text{ном}}$; отклонение характеристики от заводской не нормируется. Продолжительность испытания витковой изоляции 5 мин, при этом испытании среднее напряжение между соседними коллекторными пластинами не должно превышать 24 В, если $2p > 4$.

5. Измерение воздушного зазора под полюсами машин мощностью более 3 кВт. Зазоры в диаметрально противоположных точках не должны отличаться более чем на $\pm 10\%$ от среднего зазора.

6. Проверка работы машины на холостом ходу в течение не менее 1 ч. (Ток холостого хода двигателя не нормируется.)

7. Определение пределов регулирования частоты вращения для двигателей с регулируемой частотой вращения проводится в режиме холостого хода и под нагрузкой. Полученные пределы регулирования должны соответствовать технологическим данным привода механизма.

При текущих ремонтах машин постоянного тока нормы регламентируют проведение испытаний только по п. 1.

7.4. Организация электроремонтного производства

При организации электроремонтного предприятия (завода, станции, цеха), предназначенного для обслуживания определенного района, следует учитывать следующие факторы: размеры обслуживаемого района; расположение обслуживаемых объектов и размеры их ремонтного фонда; условия транспортировки машин в ремонт и возвращения их после ремонта, обеспечения предприятия электроэнергией, водой, топливом и рабочей силой. Наряду с территориальными электроремонтными предприятиями организуются ремонтные заводы и цехи по ведомственной принадлежности (для заводов черной и цветной металлургии, электрических станций, предприятий пищевой промышленности и т. д.). В последнем случае существенно снижается номенклатура ремонтируемых изделий, что позволяет создавать обменные фонды по всей номенклатуре, вводить на ремонтных предприятиях специализированное

оборудование для увеличения производительности труда.

Для планирования производства и определения годовой программы ремонтного предприятия необходимо иметь сведения о количестве, мощности, режимах и условиях работы электрооборудования, которое будет обслуживаться этим предприятием, с учетом возможного развития обслуживаемых предприятий района (обычно на 5–7 лет вперед).

Все электрические машины, находящиеся в эксплуатации, разделяются на группы в зависимости от типа (синхронные, асинхронные, постоянного тока и коллекторные), мощности (малой — до 1,1 кВт, средней — до 100–400 кВт и большой — свыше 400 кВт), напряжения (низковольтные — до 1000 В и высоковольтные — свыше 1000 В), исполнения и длительности межремонтного периода. При наличии указанных сведений по номенклатуре машин, подлежащих ремонту, годовую производительность электроремонтного завода в физических единицах можно рассчитать по формуле

$$P_e = K_p (A_1/n_1 + A_2/n_2 + \dots + A_n/n_n), \quad (7.1)$$

где $A_1, A_2, \dots, A_n$ — количество электрических машин в каждой группе; $n_1, n_2, \dots, n_n$ — длительность межремонтного периода (средняя) для каждой группы машин (см. табл. 7.1); K_p — коэффициент, учитывающий развитие предприятий обслуживаемого района, а также возможные внезапные отказы электрических машин (обычно принимают $K_p = 1,3 \div 1,6$).

Та же годовая программа ремонтного предприятия в денежном выражении составит

$$P_d = a_1 p_1 + a_2 p_2 + \dots + a_n p_n, \quad (7.2)$$

где $p_1, p_2, \dots, p_n$ — стоимость ремонта по каждой группе электрических машин в соответствии с действующим прейскурантом; $a_1, a_2, \dots, a_n$ — количество электрических машин (по группам), проходящих ремонт за год.

Годовую трудоемкость работ по ремонту рассматриваемого парка электрических машин можно представить в виде

$$T = a_1 m_1 + a_2 m_2 + \dots + a_n m_n, \quad (7.3)$$

где $m_1, m_2, \dots, m_n$ — нормативное время ремонта по каждой группе машин.

Нормативное время (трудоемкость) ремонта зависит от типа электрической машины, частоты вращения, класса напряжения, вида ремонта. Для асинхронных двигателей с короткозамкнутой обмоткой ротора на-

пряжением до 660 В включительно, частотой вращения 1500 об/мин и мощностью до 630 кВт можно рекомендовать нормы трудоемкости, приведенные в табл. 7.11. Для расчета норм трудоемкости ремонта электрических машин других типов и асинхрон-

Таблица 7.11. Нормы трудоемкости ремонта, чел·ч

Мощность кВт	Тип ремонта		
	Капитальный с полной заменой обмоток	Капитальный без перемотки обмоток	Текущий
До 0,8	11	6	2
0,8—1,5	12	6	2
1,6—3,0	13	7	3
3,1—5,5	15	8	3
5,6—10	20	11	4
11—17	27	14	6
18—22	32	17	7
23—30	40	21	8
31—40	47	25	10
41—55	55	29	12
56—75	69	37	15
76—100	85	44	18
101—125	110	57	22
126—160	130	68	27
161—200	140	75	30
201—250	155	82	33
251—320	175	92	36
321—400	195	102	40
401—500	225	120	44
501—630	260	135	52

Таблица 7.12. Значения коэффициента трудоемкости

Наименование	Коэффициент трудоемкости
Частота вращения электрической машины, об/мин:	
3000	0,8
1500	1,0
1000	1,1
750	1,2
600	1,4
500 и менее	1,5
Номинальное напряжение, кВ:	
до 3,3	1,7
до 6,6	2,1
Тип электрической машины:	
коллекторные постоянного и переменного тока	1,8
синхронные	1,2
двигатели с фазным ротором, погружные, взрывозащищенные, крановые и многоскоростные	1,3

ных машин с другими частотой вращения и напряжением можно пользоваться коэффициентами трудоемкости, приведенными в табл. 7.12.

Количество производственных рабочих, необходимых для выполнения годовой программы T , составляет

$$N = T/\Phi,$$

где Φ — годовой фонд времени одного рабочего (исчисляется исходя из числа рабочих дней в году, их продолжительности, длительности отпуска), ч. Годовой фонд времени равен в среднем 1910—1930 ч.

7.5. Технические условия и организация ремонта

7.5.1. Технические условия ремонта

В зависимости от массы и размера машины либо демонтируются и направляются в ремонт, либо ремонт производится непосредственно на месте их установки. В любом случае передача и приемка машин в ремонт и сдача их заказчику после ремонта производятся в соответствии с ТУ, в которых регламентируются взаимные обязательства заказчика и ремонтного предприятия.

Приемка машин в ремонт производится по акту. В акте кроме паспортных данных машины и предполагаемого объема ремонта указываются технические требования, которым должна удовлетворять машина после ремонта (модернизации), — напряжение, частота вращения, класс нагревостойкости изоляции и др. В ремонт принимаются только комплектные электрические машины, имеющие все основные узлы и детали, включая старые обмотки. Все соединительные и установочные детали должны быть демонтированы заказчиком. В ремонт не принимаются машины раскомплектованные, с разбитыми корпусами и подшипниковыми щитами, со значительным (более 25 %) повреждением активной стали.

При ремонте у машин сохраняется конструкция завода-изготовителя, и, как правило, они ремонтируются с сохранением паспортных данных. Ремонт электрических машин проводится в соответствии со следующими требованиями, обеспечивающими их эксплуатационную надежность:

применяемые материалы должны удовлетворять условиям соответствующих стандартов; класс нагревостойкости изоляции должен быть не ниже предусмотренного заводом-изготовителем;

предельно допустимые значения превышения температуры отдельных частей электрических машин должны удовлетворять требованиям ГОСТ 183-74;

требованиям стандарта должны удовлетворять допуски на установочные и присоединительные размеры (ГОСТ 8592-79);

отремонтированные машины должны быть снабжены всеми деталями и очищены, а обмотка, поверхность магнитопровода, крепления обмоток и схемы покрыты лаком; внутренние поверхности подшипниковых щитов и корпуса, вентиляторы и внешние поверхности электрических машин должны быть покрашены, конец вала должен быть покрыт консервационной смазкой;

обмотки и другие токоведущие части должны быть надежно закреплены, пазовые клинья не должны иметь слабину;

подшипники скольжения должны работать спокойно, без течи масла, подшипники качения должны быть заполнены смазкой;

отремонтированная машина должна пройти приемо-сдаточные испытания, после чего ремонтные организации гарантируют ее исправную работу в течение 1 года при соблюдении условий транспортировки, хранения и эксплуатации.

Выводные концы обмоток должны быть отмаркированы в соответствии со стандартом, на корпусе машины должен быть установлен новый щиток. На щитке должны быть указаны: наименование предприятия, проводившего ремонт, тип машины, номинальные мощность, напряжение, ток, частота вращения, КПД, коэффициент мощности (только для машин переменного тока), дата выпуска из ремонта.

При ремонте крупных электрических машин на месте установки, который проводится выездными ремонтными бригадами, заказчик выполняет электропроводку к месту ремонта, изготавливает оснастку и ремонтные приспособления, выполняет сварочные и механические работы и предоставляет в распоряжение бригады подсобные материалы для ремонта.

На электроремонтных предприятиях существуют технологические карты ремонта электродвигателей и генераторов различной мощности и класса напряжения (до и свыше 1000 В). Эти документы составлены в виде таблиц, в которых указаны номера и содержание всех технологических операций, ТУ и указания по проведению ремонта, сведения об оборудовании и оснастке, необходимых для ремонта, а также нормах времени на проведение отдельных операций.

7.5.2. Структура электроремонтного предприятия

Структура электроремонтного предприятия и состав его оборудования определяются рядом факторов, основными из которых являются номенклатура и объем ремонтируемого оборудования. При прочих равных условиях ремонтное предприятие состоит из ряда производственных участков (цехов), в которых производятся отдельные виды работ. Что касается электрических машин, то предприятия по их ремонту в большинстве случаев не выходят за рамки одного цеха. Поэтому структуру электроремонтного предприятия будем рассматривать применительно к цеховой форме организации ремонта.

Существуют семь основных видов работ (все испытания проводятся, как правило, в одном месте), которые и определяют количество производственных подразделений.

Предремонтные испытания проводятся для выявления неисправностей* по программе, включающей следующие пункты: измерение сопротивления изоляции обмоток, испытание электрической прочности изоляции, проверка целостности подшипников (на холостом ходу) и осевого выбега ротора, правильности прилегания щеток к коллектору и контактным кольцам, измерение вибрации в режиме холостого хода. Кроме того, определяется размер воздушного зазора, проверяется состояние крепежных деталей, плотность посадки подшипниковых щитов и отсутствие повреждений у отдельных частей машины.

Испытания проводятся либо на испытательной станции, либо на испытательном участке в разборочном отделении.

В разборочном отделении выполняют все предремонтные испытания, очищают электрические машины перед разборкой, разбирают их на отдельные узлы, производят дефектацию узлов и деталей (определение состояния и степени износа, объема необходимого ремонта и оформление соответствующей документации на ремонт), передают неисправные узлы и детали в соответствующие ремонтные отделения, а исправные — в отделение комплектации. В этом отделении устанавливают подъемно-транспортные устройства для транспортировки поступивших электрических машин, моечное оборудова-

* При проведении испытаний может оказывать, что в ремонт поступила исправная машина, которая имеет недопустимые характеристики при эксплуатации (нагрев, вибрации и пр.) по причине плохого обслуживания, нарушения правил эксплуатации и пр. В этом случае проводится лишь чистка и окраска машины без замены обмоток и отдельных узлов и деталей.

ние, гидравлические и винтовые съемники, приспособления для вывода ротора из расточки статора, станок для обрезки лобовых частей обмотки и извлечения обмотки из пазов, печь для нагрева изоляции, специальную оснастку для разборки электрических машин.

В обмоточном и сушильно-пропиточном отделении ремонтируют старые и изготавливают новые обмотки электрических машин, восстанавливают поврежденный обмоточный провод, пропитывают, укладывают в машину и сушат обмотки, производят сборку рабочей схемы соединения обмоток и пооперационный контроль изоляции обмоток. Здесь устанавливаются станки для очистки и изолировки проводов, для намотки катушек, для резки изоляции, приспособления для формовки изоляции и катушек из прямоугольного провода, оборудование для сварки и пайки проводов обмотки, специальный станок для бандажирования обмоток якоря и фазных обмоток ротора. Здесь же находится испытательный стенд для измерения сопротивления изоляции и проверки ее электрической прочности. Участок пропитки и сушки обмоток снабжается системой вытяжной вентиляции. Подъемно-транспортное оборудование должно быть рассчитано на узлы, имеющие максимальную массу.

В слесарно-механическом отделении ремонтируют и изготавливают новые детали электрических машин — как конструктивные (валы, подшипники скольжения, крышки подшипников и т. д.), так и токоведущие (коллекторы, контактные кольца, щеточные механизмы, короткозамкнутые обмотки роторов и др.), производят перешихтовку сердечников статоров и роторов, а также слесарную и механическую обработку различных деталей электрических машин. Отделение оснащено соответствующим парком станков для механической обработки де-

талей, подъемно-транспортным оборудованием, прессами, ножницами для резки металла, сварочным оборудованием и т. п.

В комплектовочное отделение направляют исправные узлы и детали электрических машин из разборочного отделения, отремонтированные узлы и детали из обмоточного и слесарно-механического отделений, в нем производят комплектацию электрических машин недостающими частями. Проверенные и полностью скомплектованные электрические машины передают в отделение сборки (отдельные крупные узлы могут передаваться на участок сборки, минуя комплекточный участок).

В сборочном отделении производят полную и общую сборку электрических машин. Участок сборки оснащен практически тем же вспомогательным оборудованием, что и разборочное отделение, поэтому на ряде электроремонтных предприятий эти отделения объединяют. В отличие от разборочного отделения в отделении сборки проводится балансировка роторов электрических машин, что требует установки балансировочных станков.

На испытательной станции проводят испытания новых конструкций, узлов и деталей, предназначенных взамен вышедших из строя, а также послеремонтные испытания электрических машин. Станция должна быть оснащена высоковольтным испытательным оборудованием, электрическими приборами и защитными средствами.

Отделочные работы проводят, как правило, в изоляционно-обмоточном отделении на участке окраски и сушки, снабженном необходимым оборудованием.

Одна из распространенных структурно-технологических схем ремонта электрических машин соответствует последовательности типов работ, приведенной в табл. 7.13.

Таблица 7.13. Работы при ремонте электрических машин

Виды работ	Основные технологические операции
Предремонтные испытания	Внешний осмотр. Испытания
Разборочно-дефектировочные работы	Разборка машины. Снятие поврежденных обмоток. Мойка отдельных деталей. Дефектировка деталей
Изоляционно-обмоточные работы	Восстановление обмоточного провода. Намотка и укладка обмоток. Пропитка и сушка обмоток. Изолировка и пайка схемы. Испытание обмоток
Слесарно-механические работы	Восстановление и изготовление конструктивных деталей, токоведущих частей. Перешихтовка сердечников
Комплектование деталей. Сборка машины	Поузловая сборка. Сборка машины в целом. Проверка правильности сборки
Послеремонтные испытания	В соответствии с программой прямо-сдаточных испытаний
Отделочные работы	Окраска машины. Консервация машины

ЧАСТЬ ВТОРАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ*

РАЗДЕЛ 8 СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

8.1. Общие сведения

В синхронных машинах в установившихся режимах частота вращения ротора ω_p равняется частоте вращения поля ω_c . При $\omega_p = \omega_c$ частота тока в роторе $f_2 = 0$. В обмотке возбуждения, обычно расположенной на роторе, протекает постоянный ток. Синхронные машины могут работать в режимах генератора, двигателя и синхронного компенсатора. Наиболее распространенный режим работы синхронных машин — генераторный. Почти вся электроэнергия на Земле на электростанциях вырабатывается синхронными генераторами — турбо- и гидрогенераторами [5, 10, 12].

Синхронные двигатели применяются в электроприводах, где требуется постоянная частота вращения. Преимущество синхронных двигателей перед асинхронными — возможность работы с опережающим $\cos \varphi$ или с $\cos \varphi = 1$, а также большая перегрузочная способность. Однако синхронные двигатели имеют плохие пусковые свойства, и для питания обмотки возбуждения требуется постоянный ток. Синхронные двигатели применяются в основном как мощные двигатели на мощности свыше 600 кВт и как микро-двигатели на мощности до 1 кВт.

Синхронные машины находят применение также в качестве синхронных компенсаторов — генераторов реактивной мощности. При параллельной работе с сетью при перевозбуждении синхронная машина выдает в сеть реактивную мощность и является емкостью, а при недовозбуждении по отношению к сети синхронная машина является индуктивностью и потребляет из сети реактивную мощность.

Синхронные компенсаторы используются в энергосистемах как регулируемые емкости или индуктивности [12, 15].

В конструктивном исполнении синхронные машины делятся на явно- и неявнополюсные. Быстроходные машины выполняются с неявнополюсным ротором, а тихоходные — с явнополюсным. Конструктивные особенности отдельных типов синхронных машин рассматриваются в соответствующих разделах Справочника.

8.2. Турбогенераторы

8.2.1. Общая характеристика

Турбогенераторы предназначены для выработки электроэнергии в продолжительном номинальном режиме работы при непосредственном соединении с паровыми или газовыми турбинами. Турбогенераторы устанавливаются на тепловых и атомных электростанциях.

В зависимости от мощности турбогенераторы подразделяются на три основные группы: мощностью 2,5–32 МВт, 60–320 МВт и свыше 500 МВт. По частоте вращения различают турбогенераторы четырехполюсные (на частоту вращения 1500 и 1800 об/мин) и двухполюсные (на частоту вращения 3000 и 3600 об/мин) соответственно на частоты сети 50 и 60 Гц.

По виду приводной турбины турбогенераторы классифицируются на генераторы, приводимые во вращение паровой турбиной, и генераторы с приводом от газовой турбины.

По системе охлаждения турбогенераторы подразделяются на машины с воздушным, с косвенным водородным, непосредственным водородным и жидкостным охлаждением.

По применяемой системе возбуждения турбогенераторы классифицируются на машины со статической системой самовозбуждения, независимой тиристорной системой возбуждения и бесщеточным возбуждением.

* Технические данные машин специального назначения приведены в т. 2 Справочника.

8.2.2. Турбогенераторы с воздушным охлаждением серии Т

Турбогенераторы с воздушным охлаждением (серии Т) выпускаются мощностью 2,5; 4, 6, 12 и 20 МВт (табл. 8.1). Генераторы мощностью 2,5–12 МВт имеют косвенное воздушное охлаждение активных частей, генераторы мощностью 20 МВт — непосредственное воздушное охлаждение обмотки ротора и косвенное воздушное охлаждение других активных частей.

Турбогенераторы мощностью 2,5–12 МВт выполняются на фундаментных плитах с одним стояковым изолированным подшипником, с одним свободным концом вала. Турбогенератор типа Т-20-2 выполняется с двумя стояковыми подшипниками.

Турбогенераторы имеют закрытое исполнение, обеспечивающее систему самовентиляции по замкнутому циклу. Машины типов Т-2,5-2, Т-4-2, Т-6-2, Т-12-2 имеют горизонтальные газоохладители, расположенные по бокам статора на фундаментной плите. В турбогенераторе типа Т-20-2 используются шесть вертикально расположенных газоохладителей. Газоохладители имеют амортизационные подвески.

Циркуляция охлаждающего воздуха в турбогенераторе осуществляется внутренними вентиляторами, укрепленными по обеим сторонам бочки ротора. Для уменьшения попадания пыли внутрь корпуса статора на валу предусмотрены воздушные уплотнения. Для восполнения утечек воздуха предусмотрен засос воздуха из окружающей среды через фильтры, расположенные на внешних щитах.

Сердечник статора состоит из разделенных вентиляционными каналами пакетов. Пакеты набираются из сегментов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Об-

мотка статора — двухслойная с укороченным шагом. Изоляция обмотки статора — термореактивная типа «монолит-2» класса нагревостойкости В. При эксплуатации турбогенераторов контроль нагрева осуществляется термометрами сопротивления, установленными в пазах в местах максимальных температур. Обмотка имеет шесть выводов, которые проходят через встроенные трансформаторы тока.

Ротор турбогенератора изготовлен из цельной стальной поковки. В бочке ротора выполнены пазы, в которые уложена обмотка возбуждения. Изоляция — класса нагревостойкости F с допустимой рабочей температурой 145°C, измеренной методом сопротивления.

В турбогенераторе типа Т-20-2 для обеспечения вентиляции под пазами выполняются подпазовые каналы. Обмотка ротора этого турбогенератора изготавливается из лосовой меди, намотанной на ребро с посадкой серебра. В пазовой части витков обмотки выполняются овальные отверстия, образующие в катушке радиальные вентиляционные каналы.

Лобовые части обмотки закрыты немагнитными роторными бандажами, имеющими горячую посадку на центрирующие кольца. Ротор динамически балансируется. Для увеличения поверхности теплоотдачи на бочке ротора выполнено рифление.

Контактные кольца изготавливаются из износостойкой стальной поковки и насаживаются на вал с промежуточной изоляционной втулкой.

Щеточная траверса состоит из двух металллических шин, собранных на стальных шпильках, и крепится к кожуху контактных колец. Траверса и контактные кольца закрыты кожухом. Смазка подшипников скольжения — циркуляционная под давлением от

Таблица 8.1. Основные технические данные турбогенераторов серии Т (частота вращения 3000 об/мин, $\cos \varphi = 0,8$)

Тип турбогенератора	Мощность, кВт	Напряжение статора, В	Ток статора, А	КПД, %	Напряжение возбуждения, В	Ток возбуждения, А	Масса, кг
Т-2,5-2	2500	3150	572	97,2	83	243	12 500
Т-4-2	4000	6300	286				
		3150	916	97,4	113	274	15 000
		6300	458				
Т-6-2	6000	6300	687	97,6	140	248	20 000
		10 500	412		139	246	
		6300	1376		230	291	
Т-12-2	12 000	10 500	825	97,6	230	289	27 000
Т-20-2	20 000	6300	2295	97,6	190	545	60 000
		10 500	1375		192	548	

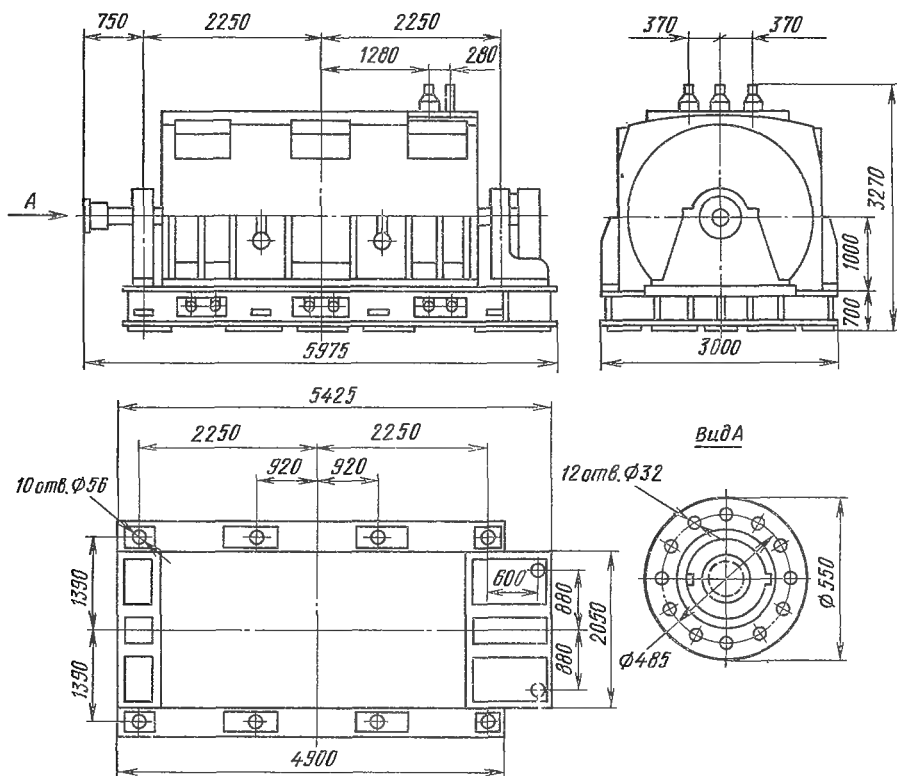


Рис. 8.1. Габаритные и установочно-присоединительные размеры турбогенератора типа Т-20-2

масляной системы турбины. Подшипник со стороны контактных колец изолирован от фундаментной плиты, маслопровода и электропровода подсвета слива масла.

Контроль температуры активных частей генератора, подшипников охлаждающего воздуха и воды осуществляется термометрами и термодатчиками.

Габаритные и установочно-присоединительные размеры турбогенератора типа Т-20-2 приведены на рис. 8.1.

8.2.3. Турбогенераторы с водородным охлаждением серии ТВФ

В серию ТВФ входят турбогенераторы мощностью 63, 100 и 110 МВт (табл. 8.2). Турбогенераторы имеют непосредственное форсированное охлаждение обмотки ротора водородом и косвенное водородное охлаждение обмотки статора.

Корпус статора — цилиндрический, сварной, газонепроницаемый, неразъемный. Сердечник статора собран на продольных реб-

рах из сегментов электротехнической стали и вдоль оси разделен вентиляционными каналами на пакеты. Ребра сердечника приварены к поперечным кольцам корпуса статора. С торцов сердечник статора закреплен нажимными кольцами из немагнитной стали. Для демпфирования электромагнитных потоков рассеяния лобовых частей обмоток статора под нажимными кольцами установлены медные экраны.

Пазы статора — открытые, прямоугольные. Обмотка статора — трехфазная, двухслойная, стержневая, с укороченным шагом. Лобовые части обмотки — корзиночного типа. Стержни обмотки сплетены из сплошных прямоугольных медных проводников. Изоляция стержней непрерывная термореактивная.

В пазах стержни закрепляются волнообразными прокладками и клиньями, а лобовые части обмотки — кронштейнами, кольцами и различными распорками. Линейные и нулевые выводы выведены из корпуса статора через изоляторы.

Ротор изготовлен из цельной поковки

Таблица 8.2. Технические данные турбогенераторов серии ТВФ (частота вращения 3000 об/мин, $\cos \varphi = 0,8$)

Тип турбогенератора	Мощность, МВт	Напряжение статора, кВ	Ток статора, А	Напряжение возбуждения, В	Ток возбуждения, А	КПД, %	Расход материалов, кг/(кВ·А)	Давление водорода, кПа	ОКЗ	Статическая перегрузка	Индуктивные сопротивления, о. с.	
											X_s	X_d
ТВФ-63-2УЗ	63	10,5*	4300	185	1325	98,3	1,57	196	0,539	1,93	0,27	0,15
ТВФ-120-2УЗ	100	10,5	6875	277	1715	98,43	1,43	245	0,563	1,9	0,278	0,192
ТВФ-63-2ЕУЗ	63	10,5*	4330	202	1815	98,34	1,18	196	0,502	1,88	0,296	0,195
ТВФ-110-2ЕУЗ	110	10,5	7560	293	1750	98,5	1,1	196	0,544	1,9	0,271	0,189

* У турбогенераторов мощностью 63 МВт есть исполнение на напряжение статора 6,3 кВ.

специальной высококачественной стали. В бочке ротора профрезерованы прямоугольные пазы, в которые укладывается обмотка возбуждения из полосовой меди с присадкой серебра. Обмотка выполняется с непосредственным охлаждением витков водородом по схеме самовентилиации с забором водорода из зазора машины. В пазах обмотка закреплена клиньями. Лобовые части удерживаются бандажными кольцами, которые изготавливаются из немагнитной стали. Контактные кольца насажены на изолированный конец вала за подшипником со стороны возбuditеля.

Токоподводы установлены в центральной осевой отверстии ротора. Они соединяются с обмоткой и контактными кольцами изолированными шинами и специальными изолированными болтами.

Подшипник со стороны возбuditеля — стоякового типа, выносной, с шаровым самоустанавливающимся вкладышем. Смазка подшипника принудительная. Масло подается под давлением из маслопровода турбины.

Рядом с подшипником установлена щеточная траверса для подвода тока возбуждения на контактные кольца ротора.

Для предотвращения утечки водорода из корпуса статора на наружных щитах генератора установлены масляные уплотнения вала. Заданное давление масла и необходимый перепад между давлениями водорода и уплотняющего масла автоматически поддерживается регуляторами при всех рабочих и переходных режимах работы турбогенераторов.

Вентиляция турбогенератора осуществляется по замкнутому циклу. Циркуляция водорода обеспечивается двумя вентиляторами, установленными на валу ротора. Водо-

род охлаждается газоохладителями, горизонтально встроенными в корпус статора.

Тепловой контроль всех основных узлов турбогенератора производится установленными в них термометрами сопротивления, подключенными к контролирующим приборам.

8.2.4. Турбогенераторы с водородно-водяным охлаждением серии ТВВ

В серию ТВВ входят турбогенераторы мощностью 160, 200, 220, 300, 500, 800, 1000 и 1200 МВт на 3000 об/мин (рис. 8.2) и турбогенераторы мощностью 1000 МВт на 1500 об/мин (табл. 8.3).

Турбогенераторы имеют непосредственное охлаждение обмотки статора дистиллированной водой, непосредственное форсированное охлаждение обмотки ротора водородом, внешней поверхности ротора и сердечника статора — водородом.

Учитывая возможность транспортировки, корпус статора выполняют в двух вариантах. Турбогенераторы мощностью 160—220 МВт имеют однокорпусное исполнение статора. Корпус сделан сварным, газонепроницаемым, неразъемным и имеет внутри поперечные кольца жесткости для крепления сердечника. С торцов статор закрыт внешними щитами.

Турбогенераторы мощностью 300—800 МВт имеют разъемные статоры. Корпус статора выполнен из трех частей: центральной и двух концевых. Корпус турбогенератора заполнен водородом под давлением. Охлаждающий водород циркулирует под действием двух осевых вентиляторов, установленных на валу ротора, и охлаждается в газоохладителях, встроенных в корпус генератора.

Рис. 8.2. Турбогенератор типа ТВВ-800-2

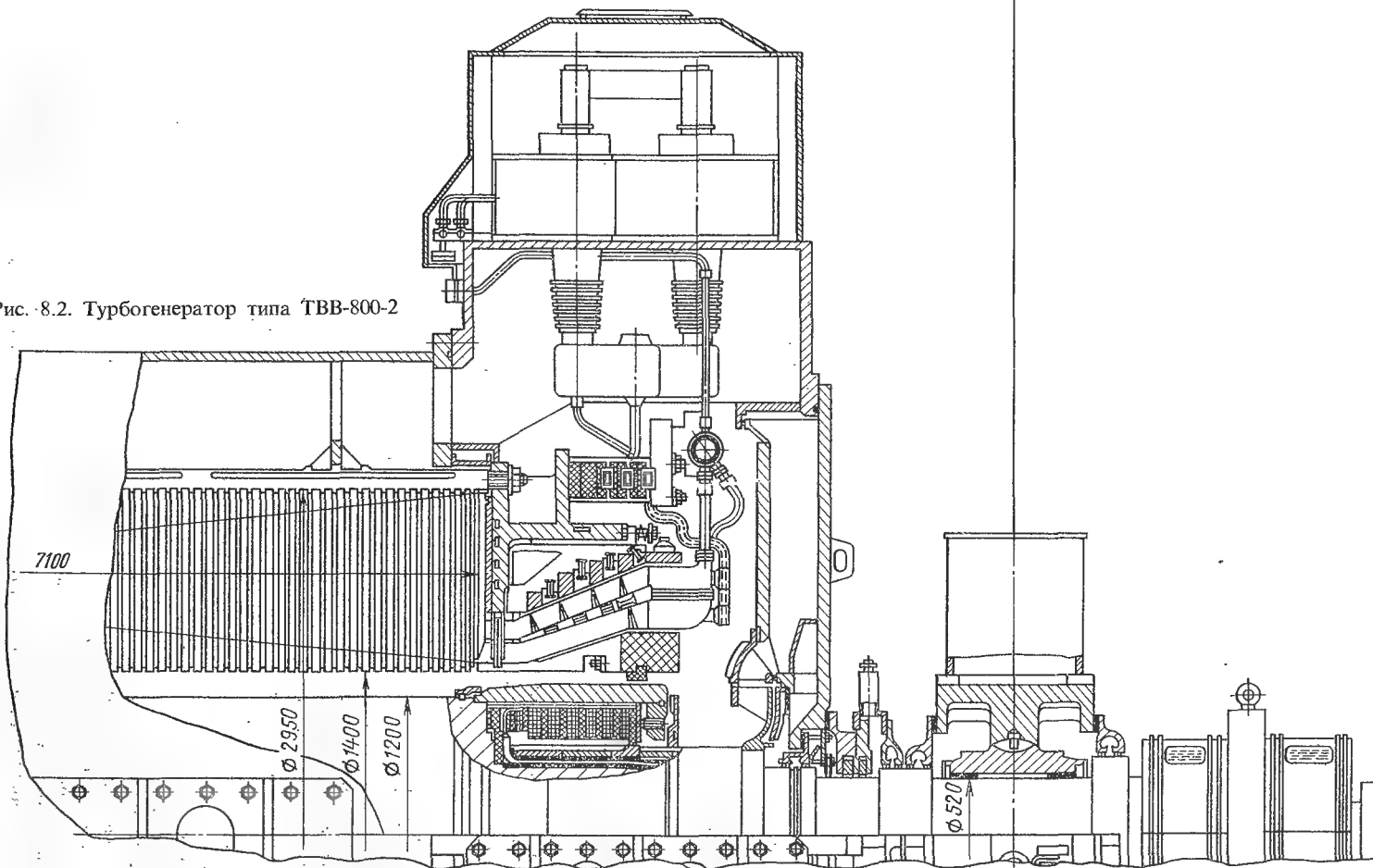


Таблица 8.3. Технические данные турбогенераторов серии ТВВ

Тип турбогенератора	Мощность, МВт	cos φ	Напряжение статора, кВ	Ток статора, кА	Напряжение возбуждения, В	Ток возбуждения, А	КПД, %
ТВВ-160-2Е	160	0,85	18	6,04	360	2300	98,5
ТВВ-200-2А	200	0,85	15,75	8,625	300	2540	98,6
ТВВ-320-2	300	0,85	20	10,2	447	2900	98,6
ТВВ-500-2	500	0,85	20	17	474	3530	98,7
ТВВ-800-2	800	0,9	24	21,4	612	3790	98,75
ТВВ-1000-2	1000	0,9	24	26,73	427	7550	98,75
ТВВ-1200-2	1200	0,9	24	16,05	517	7500	98,8
ТВВ-1000-4	1000	0,9	24	26,73	467	6990	98,7

Продолжение табл. 8.3

Тип турбогенератора	Частота вращения, об/мин	Расход материалов, кг/(кВ · А)	Давление водорода, кПа	ОКЗ	Статическая перегружаемость	Индуктивные сопротивления, о. е.	
						x_d'	x_d''
ТВВ-160-2Е	3000	0,88	294	0,459	1,7	0,33	0,22
ТВВ-200-2А	3000	1,0	294	0,51	1,66	0,27	0,18
ТВВ-320-2	3000	0,96	392	0,62	1,7	0,26	0,17
ТВВ-500-2	3000	0,65	441	0,442	1,63	0,36	0,24
ТВВ-800-2	3000	0,58	480	0,476	1,56	0,31	0,22
ТВВ-1000-2	3000	0,49	480	0,4	1,53	0,38	0,27
ТВВ-1200-2	3000	0,457	490	0,45	1,50	0,36	0,25
ТВВ-1000-4	1500	0,6	490	0,45	1,54	0,45	0,32

Турбогенераторы мощностью 160—220 МВт имеют четыре газоохладителя, установленных внутри корпуса статора вдоль оси машины. Турбогенераторы мощностью 300—800 МВт имеют четыре газоохладителя, расположенных вертикально, по два в каждой концевой части. Циркуляция технической воды в газоохладителях осуществляется насосами, расположенными вне генератора.

В средней части корпуса на концевых перегородках укреплен сердечник статора. Сердечник статора собран на продольных ребрах из сегментов электротехнической стали и вдоль оси разделен вентиляционными каналами на пакеты.

С торцов сердечник статора закреплен нажимными кольцами из немагнитной стали. Для демпфирования электромагнитных потоков рассеяния лобовых частей обмотки статора под нажимными кольцами установлены медные экраны. Обмотка статора — трехфазная, двухслойная, с укороченным шагом, стержневая. Лобовые части обмотки — корзиночного типа. Пазы статора — открытые прямоугольные.

Турбогенератор мощностью 160 МВт имеет шесть выводов статорной обмотки, из

них три линейных и три нулевых. Турбогенераторы мощностью 200—1000 МВт имеют девять выводов статорной обмотки: шесть нулевых и три линейных.

Обмотка статора турбогенератора мощностью 1200 МВт шестифазная и состоит из двух трехфазных обмоток, сдвинутых относительно друг друга на 30°. Турбогенератор имеет 18 выводов статорной обмотки — по 9 с каждой стороны.

Стержни обмотки сплетены из сплошных и полых элементарных проводников. Для охлаждения обмотки по полым проводникам циркулирует дистиллированная вода. Изоляция стержней — непрерывная, термореактивная. В пазах стержни закреплены специальными прокладками и клиньями. Лобовые части закреплены кронштейнами, кольцами и различными распорками.

Ротор изготовлен из цельной поковки специальной высококачественной стали. В бочке ротора выфрезерованы пазы, в которые уложена обмотка возбуждения из полосовой меди с присадкой серебра. Ее охлаждение осуществляется непосредственно водородом по схеме самовентилиации с забором газа из зазора машины.

В пазах обмотка закреплена клиньями.

Таблица 8.4. Габаритные размеры и масса турбогенераторов

Тип турбогенератора	Масса ротора, т	Масса статора (монтажная), т	Масса генератора, т	Размеры, мм		
				Длина с возбуждителем	Ширина	Высота
ТВФ-63-2У3	25,4	87,7	123,6	10 687	3600	4290
ТВФ-120-2У3	30,8	113,5	179	11 380	3960	4610
ТВФ-63-2ЕУ3	18,4	72,4	93	10 560	3518	4208
ТВФ-110-2ЕУ3	28,9	99,7	151	11 164	4140	4410
ТВВ-160-2ЕУ3	30,8	115	167	12 650	3760	4640
ТВВ-200-2У3	41,8	170	235	13 875	3960	4790
ТВВ-320-2У3	55,1	201,7	340	15 915	4700	5750
ТВВ-500-2У3	65	225	384	17 175	5360	6980
ТВВ-800-2У3	84	322	515	19 300	5560	7530
ТВВ-1000-2У3	86,5	318	541	23 135	5560	7530
ТВВ-1200-2У3	104	410	610	25 160	6400	6250
ТВВ-1000-4У3	156	333	667	21 820	6100	8020
ТГВ-200-2М	48,1	170	256	11 666	4712	3276
ТГВ-300-2	55,8	266	364	16 960	4150	2995
ТГВ-500-2	61,5	218	361	12 370	5020	2995
ТГВ-500-4	150	215	495	19 173	5620	2950
ТВМ-300-2	50,4	245	393	12 370	3860	3974
ТВМ-500-2	63,5	244	340	18 110	3860	5666

Лобовые части обмотки удерживаются бандажными кольцами (из поковок немагнитной стали). Роторные бандажные кольца — конского типа и имеют горячепрессовую посадку на бочке ротора. От осевых перемещений бандажные кольца удерживаются кольцевой шпонкой и гайкой, навинченной на носик бандаж с наружной стороны.

Контактные кольца установлены на валу ротора за подшипником со стороны возбуждателя. Щетки и контактные кольца охлаждаются вентилятором.

Щеточная траверса установлена на фундаментной плите рядом с подшипником.

Токосподводы, соединяющие контактные кольца с обмоткой возбуждения, устанавливаются в осевом отверстии вала ротора.

На валу роторов турбогенераторов мощностью 1000 и 1200 МВт контактных колец нет. Подвод тока к обмотке ротора осуществляется непосредственно от стержня токосвода возбуждателя к стержню токосвода ротора турбогенератора радиальными медными клиньями.

Опорный подшипник со стороны возбуждателя — стояковой типа, выносной, имеет шаровой самоустанавливающийся вкладыш. Подшипник со стороны турбины встроен в цилиндр низкого давления турбины. Смазка подшипника принудительная. Масло подается под избыточным давлением из напорного маслопровода турбины через бак аварийной смазки.

Для предотвращения выхода водорода

Технические данные турбогенератора

Мощность полная, МВ · А	800
Мощность активная, МВт	889
Коэффициент мощности	0,9
Номинальное напряжение, кВ	24
Номинальный ток, кА	21,4
Ток возбуждения, А	4875
Напряжение возбуждения, В	390
Число пазов статора	42
Число пазов (пазовых делений ротора) 44(70)	
Размеры турбогенератора, мм:	
диаметр статора внутренний	1400
диаметр ротора	1200
диаметр корпуса внешний	4280
длина сердечника статора	7100
длина ротора полная	14 290
Параметры по результатам испытаний:	
КПД, %	98,86
ОКЗ	0,5
статическая перегружаемость	1,52
Индуктивные сопротивления, о. е.:	
синхронное по продольной оси	
x_d	2,28
переходное x'_d	0,307
сверхпереходное x''_d	0,245

из корпуса статора на внешних щитах генератора установлены масляные уплотнения вала.

Заданное давление масла и необходимый перепад между давлением водорода и давлением уплотняющего масла автоматически поддерживаются регулятором при всех рабочих и переходных режимах работы турбогенераторов.

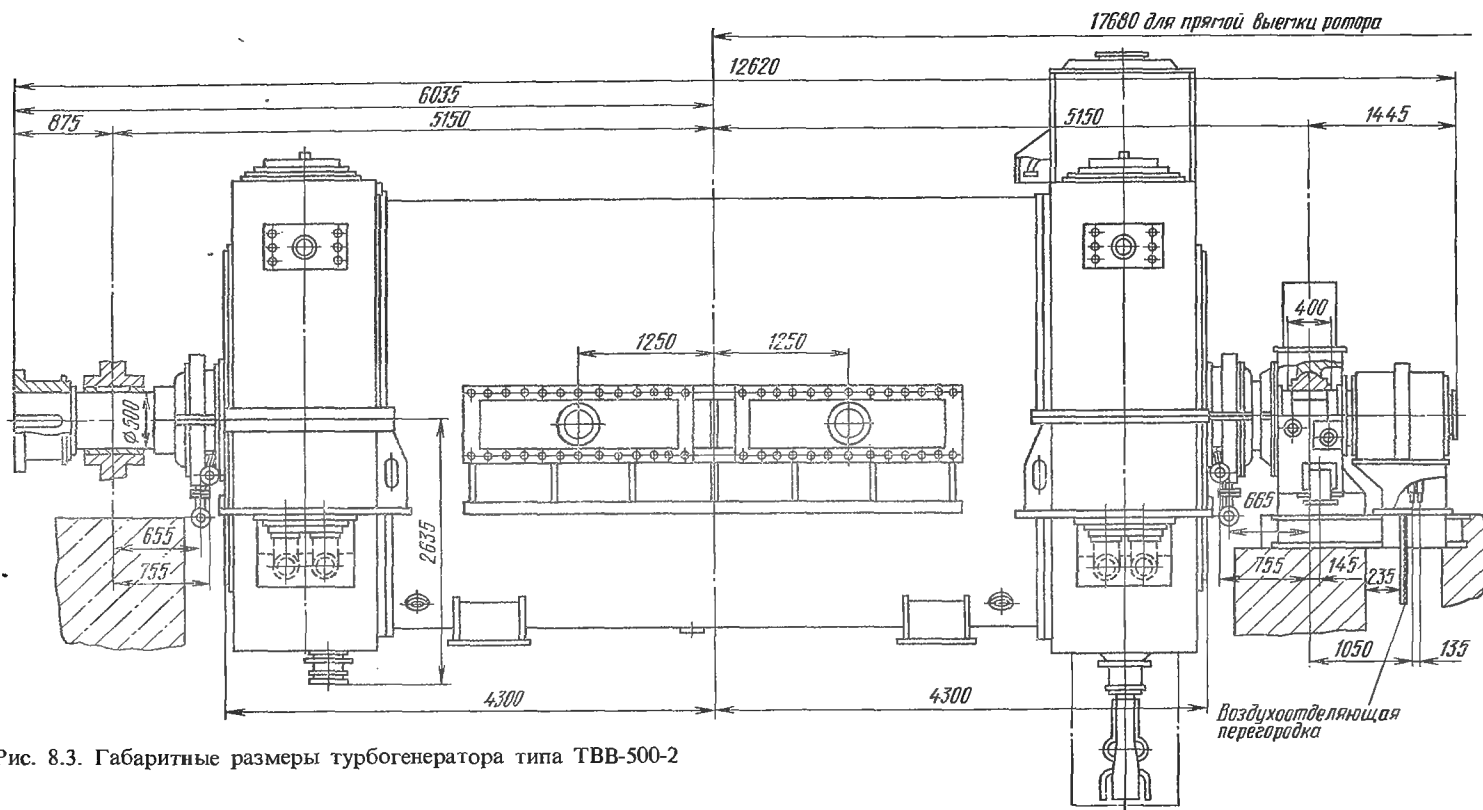


Рис. 8.3. Габаритные размеры турбогенератора типа ТВВ-500-2

Тепловой контроль всех основных узлов турбогенератора производится установленными в них термометрами сопротивления, подключенными к контролирующим приборам.

Габаритные размеры турбогенераторов приведены в табл. 8.4. На рис. 8.3 приведены габаритные и установочно-присоединительные размеры турбогенератора ТВВ-500-2.

8.2.5. Турбогенераторы

с полным водяным охлаждением ТЗВ

Производственное объединение «Электросила» серийно изготавливает турбогенераторы с полным водяным охлаждением типа ТЗВ-800-2УЗ мощностью 800 МВт, 3000 об/мин (рис. 8.4).

В турбогенераторе типа ТЗВ-800-2 обмотки статора и ротора охлаждаются непосредственно водой, протекающей по каналам трубчатых медных проводников. Активная сталь сердечника статора охлаждается охладителями из силумина, запрессованными между пакетами. Сталь ротора и воздух, заполняющий генератор, охлаждаются в основном водоохлаждаемой демпферной обмоткой ротора.

Электрические и гидравлические соеди-

нения в роторе производятся на концах катушек, выведенных аксиально за торцы лобовых частей. Пазы ротора — прямоугольные, ступенчатые, широкие в верхней и узкие в нижней частях. Все проводники имеют одинаковое прямоугольное сечение с круглым каналом. Демпферная обмотка расположена под клиньями ротора. Выравнивание жесткости ротора по продольной и поперечной осям осуществляется с помощью прямоугольных пазов в больших зубах ротора, заполненных брусками из магнитной стали.

В каждом пазу ротора уложено по две стороны катушек, верхняя — в широкой части и нижняя — в узкой. В четырех пазах, которые примыкают к большим зубцам, уложено по одной верхней стороне катушек. Катушки обоих полюсов в каждом из слоев обмотки намотаны в одном направлении, при этом направления намотки верхних и нижних катушек противоположны.

Электрические соединения катушек выполняются короткими гибкими перемычками, расположенными радиально и соединяющими концы верхних и нижних катушек. К контактным кольцам присоединены нижние выводы внутренних катушек. Межполюсное соединение выполняется при помощи двух коротких гибких перемычек включе-

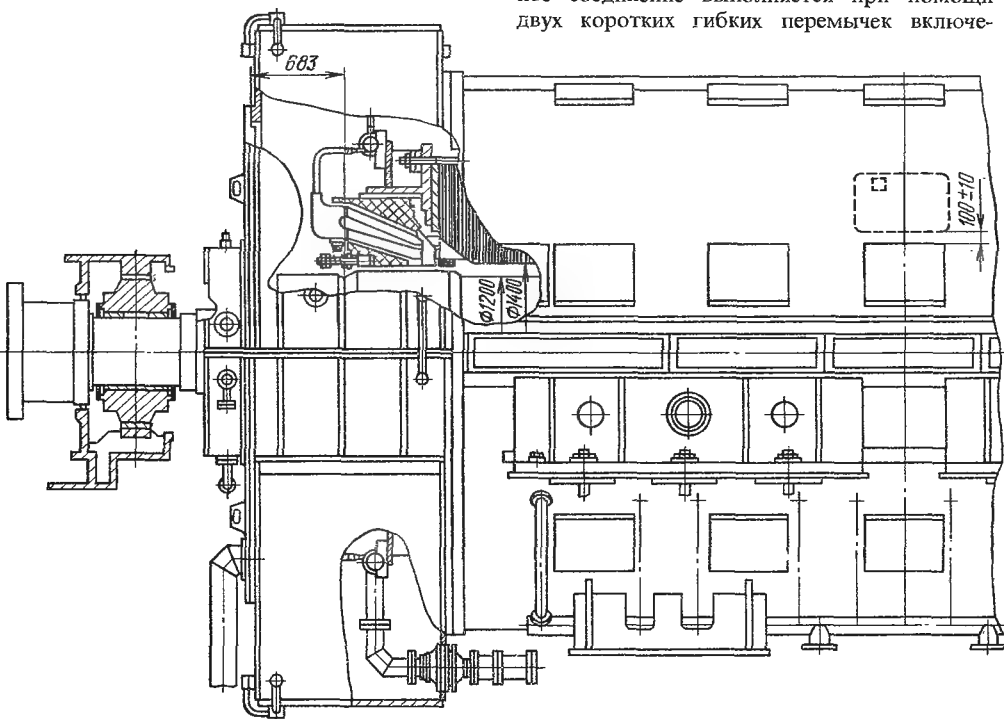


Рис. 8.4. Турбогенератор типа ТЗВ-800-2

нием в параллель верхних витков внешних верхних катушек.

Обмотка ротора охлаждается по самонапорной схеме с подачей и сливом воды помимо вала. Для протока воды по каналам проводников используется центробежная сила воды, приобретаемая во вращающемся роторе. Слив воды из катушек ротора производится с большого радиального уровня, чем ее вход. Вода свободно подается в открытый по направлению к валу напорный коллектор, образованный фасонным кольцом, прикрепленным к упорному кольцу бандажного узла, захватывается вращающимся ротором и поступает в нижние выводы всех катушек, затем проходит по каналам проводников и, вытекая из верхних выводов катушек и со сливного кольца, прикрепленного к бандажному узлу, открыто сбрасывается в сливную камеру, расположенную в торцевом щите корпуса статора.

Демпферная обмотка помещается под пазными клиньями во всех пазах и состоит из секций, уложенных каждая в двух соседних пазах. Секции содержат по два медных проводника прямоугольного сечения с круглым каналом и являются отдельными цепями системы охлаждения. Проводники проложены аксиально на всю длину бочки ротора и обих бандажей лобовых частей обмотки ротора. В зоне бандажей проводники демпферной обмотки замкнуты коротко двумя слоями медных листов, лежащих на внутренней поверхности бандажей. Система охлаждения демпферной обмотки — самонапорная, как и обмотки возбуждения.

Водяное охлаждение сердечника статора осуществляется с помощью литых охладителей из силумина по форме сегментов стали статора толщиной 7 мм, запрессованных между пакетами активной стали. Змеевики из нержавеющей стали, залитые в охладители, уложены зигзагообразно в тело статора и зубцы.

Упругое крепление сердечника в корпусе выполнено приваркой ребер к его кольцевым стенкам по боковым сторонам статора, против опорных лап. В ребрах у мест приварки имеются продольные прорезы, обеспечивающие упругость закрепления сердечника. Число ребер в боковых зонах увеличено вдвое, причем дополнительные ребра присоединены к активной стали и корпусу и являются опорными для тангенциальных перемещений. Верхние и нижние стяжные ребра с корпусом не связаны, а жестко расклинены к телу сердечника. Концевые части корпуса статора выполнены сварными из немагнитной стали.

Лобовые части обмотки статора закреплены между внешними и внутренними стеклослодитовыми кольцами. Внешнее кольцо, на коническую поверхность которого укладывается нижний слой лобовых частей, закреплено в цилиндрическом выступе нажимной плиты при помощи резиновых прокладок и плоских титановых пружин, поджатых встречными клиньями. Лобовые части обмотки скреплены с внешним изоляционным кольцом и между собой при помощи эпоксидной замазки холодного отверждения с лавсановыми наполнителями. На поверхность верхнего слоя обмотки статора нанесен выравнивающий слой замазки, и вся лобовая часть через резиновую прокладку поджата внутренним стеклотекстолитовым кольцом при помощи тяг, упоров и пружин.

Контуры водяного охлаждения статора и ротора выполнены раздельными.

Статорный контур выполнен герметичным, изолированным от атмосферы, с подушкой инертного газа (азота) над поверхностью дистиллята в подпиточном баке и сливных камерах. Контур включает в себя обмотку статора, сталь статора, экраны ребор и нажимных колец.

Роторная система — открытая, связанная через газ, заполняющий машину с системой осушки. Контур включает в себя обмотки возбуждения и демпферную. В каждом контуре предусмотрены насосы — рабочий и резервный, теплообменники, фильтры механические, магнитные, подпиточный бак (слив из стали — свободный, слив из обмотки — затопленный) и ионообменный фильтр для непрерывной очистки дистиллята. Для уменьшения коррозии медных проводников систем охлаждения предусматривается ввод в оба контура ингибиторов коррозии — соответственно для контуров статора и ротора.

В генераторах введено раздельное автоматическое регулирование температуры дистиллята контуров ротора и статора, имеется система автоматического регулирования подачи воды в ротор при частоте вращения 100—3000 об/мин.

8.2.6. Турбогенераторы серии ТГВ и ТВМ

В серию ТГВ входят турбогенераторы мощностью 200, 300 и 500 МВт (табл. 8.5). Корпус статора — цилиндрический, сварной, газоплотный. Турбогенераторы мощностью 200 и 300 МВт выполнены в однокорпусном исполнении. Корпус статора турбогенератора мощностью 500 МВт состоит из трех

Таблица 8.5. Технические данные турбогенераторов серии ТГВ и ТВМ ($\cos \varphi = 0,85$)

Тип турбогенератора	Мощность активная, МВт	Напряжение статора, кВ	Ток статора, кА	Напряжение возбуждения, В	Ток возбуждения, А	КПД, %
ТГВ-200-2М	200	15,75	8,625	420	1890	98,6
ТГВ-300-2	300	20	10,2	420	3050	98,7
ТГВ-500-2	500	20	17,0	440	5120	98,83
ТГВ-500-4	500	20	17,0	440	4380	98,8
ТВМ-300-2	300	20	10,2	282	4420	98,8
ТВМ-500-2	500	36,75	9,24	430	5560	98,8

Продолжение табл. 8.5

Тип турбогенератора	Частота вращения, об/мин	Расход материалов, кг/(кВ·А)	Давление водорода в корпусе, кПа	ОКЗ	Статическая перегружаемость	Индуктивные сопротивления, о. е.	
						x'_d	x''_d
ТГВ-200-2М	3000	1,09	300	0,555	1,73	0,31	0,204
ТГВ-300-2	3000	1,03	300	0,505	1,715	0,30	0,195
ТГВ-500-2	3000	0,615	300	0,44	1,65	0,373	0,243
ТГВ-500-4	1500	0,84	300	0,5	1,87	0,398	0,268
ТВМ-300-2	3000	1,11	—	0,494	1,70	0,352	0,204
ТВМ-500-2	3000	0,58	—	0,44	1,65	0,38	0,268

частей — центральной и двух приставных с торцов коробов. Корпус статора заполнен водородом под давлением.

Сердечник статора собран на продольные призмы. Для снижения вибрации внутренний корпус устанавливается в корпусе статора на пластинчатых пружинах, расположенных в несколько рядов по длине машины. Сердечник состоит из отдельных пакетов, разделенных кольцевыми радиальными каналами.

Сердечник запрессовывается с помощью массивных нажимных фланцев, изготовляемых из немагнитной стали.

Обмотка статора — трехфазная, двухслойная, стержневая, с укороченным шагом. Лобовые части обмотки — корзиночного типа.

Стержни обмотки с непосредственным газовым охлаждением имеют вентиляционные каналы, образованные изолированными трубками из немагнитной стали.

Стержни обмотки с водяным охлаждением состоят из сплошных и полых медных проводников. Изоляция стержня — термоактивная, типа ВЭС-2.

Ротор изготавливается из высококачественной стали. В бочке ротора имеются радиальные пазы с параллельными стенками. Обмотка ротора с газовым охлаждением выполняется из медных полос специального

профиля. В турбогенераторах мощностью 200 и 300 МВт используется одноступенчатый центробежный компрессор, расположенный на валу ротора.

Для турбогенератора мощностью 500 МВт принято непосредственное водяное охлаждение обмотки ротора, выполненной из медных проводников прямоугольной формы с круглым внутренним отверстием. Подход воды осуществляется через торец ротора. Водой охлаждаются также токоподвод и частично контактные кольца.

Бандажные кольца для крепления лобовых частей обмотки ротора непосредственно насажены на бочку ротора и закреплены с помощью кольцевой зубчатой шпонки.

Турбогенераторы мощностью 200 и 300 МВт имеют массивные торцевые щиты с встроенным узлом подшипников. Подшипники турбогенератора мощностью 500 МВт встроены в концевые части статора. В турбогенераторах применяются водородные уплотнения торцевого или кольцевого типа.

В серию ТВМ входят турбогенераторы мощностью 300 и 500 МВт (см. табл. 8.5). Турбогенераторы имеют масляное охлаждение обмотки и сердечника статора и водяное ротора.

Статор турбогенераторов заполнен изоляционным маслом, объем которого огра-

ничивается корпусом, торцевыми щитами и изоляционным цилиндром, заведенным в расточку статора. Сердечник статора выполнен в виде одного сплошного пакета, набранного из штампованных сегментов электротехнической стали. Обмотка статора — стержневая, двухслойная с бумажно-масляной изоляцией. Обмотка охлаждается маслом, протекающим внутри полых проводников (турбогенератор мощностью 300 МВт) или по щелевому каналу в стержне (турбогенератор мощностью 500 МВт).

Ротор изготавливается из цельной поковки высокопрочной легированной стали. Катодки обмотки ротора выполнены из полых медных проводников. Ротор охлаждается конденсатом, циркулирующим по каналам проводников. В турбогенераторе мощностью 500 МВт применено жидкостное охлаждение поверхности бочки ротора, осуществляемое с помощью конденсата, протекающего по трубкам, расположенным в зубцах ротора.

Габаритные размеры и масса турбогенераторов приведены в табл. 8.4.

8.2.7. Системы возбуждения, регулирования и защиты

В качестве основной системы возбуждения для турбогенераторов серии Т используется бесщеточная система возбуждения с автоматическим регулятором возбуждения; бесщеточный возбудитель — консольного типа закрытого исполнения с замкнутым циклом вентиляции.

Для возбуждения турбогенераторов серии ТВФ используется полупроводниковая система независимого возбуждения. Возбудителем является индуктивный генератор повышенной частоты с воздушным охлаждением. В корпус генератора встроены выпрямительное устройство и возбудитель. Исполнение возбудителя — закрытое, с самовентиляцией по замкнутому циклу. Подшипники — щитовые с принудительной смазкой.

Для турбогенераторов мощностью 160—800 МВт применяется тиристорная система независимого возбуждения. В качестве возбудителя используются синхронные трехфазные генераторы переменного тока. Генераторы имеют замкнутую воздушную вентиляцию, воздух охлаждается охладителями, встроенными в корпус статора. Возбудители имеют два стояковых подшипника скольжения с принудительной смазкой. Возбуждение регулируется автоматическим регулятором.

Возбуждение турбогенераторов мощностью 1000—1200 МВт осуществляется по независимой схеме с помощью бесщеточного

возбудителя, соединенного с валом турбогенератора. Возбудители представляют собой обращенные синхронные генераторы повышенной частоты, которые питают обмотку возбуждения турбогенераторов через вращающиеся диодные выпрямители.

Турбогенераторы серии ТГВ имеют тиристорные системы возбуждения. Для турбогенераторов мощностью 200—300 МВт применяется статическая система самовозбуждения с питанием обмотки ротора от шин турбогенератора через выпрямительный трансформатор с преобразованием переменного тока в постоянный посредством статических тиристорных преобразователей.

Для турбогенераторов мощностью 500 МВт применяется независимая тиристорная система возбуждения с питанием обмотки ротора от вспомогательного синхронного трехфазного генератора, с преобразователем переменного тока в постоянный с помощью статических тиристорных преобразователей.

Возбуждение турбогенератора типа ТВМ мощностью 300 МВт осуществляется от машины постоянного тока, соединенной с валом генератора через редуктор. Система возбуждения турбогенератора типа ТВМ мощностью 500 МВт — статическая с управляемыми преобразователями. Питание преобразователей может быть выполнено от трансформаторов, подключенных к генератору, или от возбудителя переменного тока, расположенного на валу турбогенератора.

Контроль теплового состояния всех основных узлов и системы охлаждения турбогенераторов производится с помощью термопреобразователей, которые подключаются к установке централизованного контроля. Для контроля параметров системы охлаждения (давления, расходов дистиллята, охлаждающей воды, давления масла в уплотнениях вала), а также параметров системы возбуждения предусмотрена контрольно-измерительная аппаратура, которая позволяет производить непрерывный автоматический или визуальный контроль необходимых величин, регистрировать отклонения от заданных пределов и сигнализировать о них.

Турбогенераторы обеспечиваются следующими релейными защитами: дифференциальными продольной и поперечной с мгновенным отключением; 100%-ной от замыкания на землю обмотки статора и в цепи возбуждения; от тока обратной последовательности; асинхронного режима; повышения напряжения статора генератора; перенапряжений в обмотке ротора; от токовых перегрузок обмоток статора и ротора.

На турбогенераторах установлены также технологические защиты: от уменьшения расхода воды в контуре газоохладителей, снижения расхода дистиллята через обмотку статора и уровня масла.

8.2.8. Режим работы турбогенераторов

Зависимость мощности генератора от напряжения и частоты. При изменении напряжения на выводах обмотки статора в пределах $\pm 5\%$ номинального генератор развивает номинальную мощность при номинальном коэффициенте мощности. При этом ток в обмотке статора соответственно изменяется в пределах $\pm 5\%$. Работа генератора разрешается при напряжении на выводах обмотки статора не более 110% номинального. Полная мощность и ток статора, в % их номинальных значений, должны соответствовать данным табл. 8.6.

При отклонениях частоты в пределах $\pm 2,5\%$ номинальной номинальная мощность генератора сохраняется.

Генератор сохраняет номинальную мощность при одновременных отклонениях напряжения до $\pm 5\%$ и частоты до $\pm 2,5\%$ номинальных значений при условии, что в режимах работы с повышенным напряжением и пониженной частотой сумма абсолютных значений отклонений напряжения и частоты не должна превышать 6% .

Зависимость мощности от $\cos \varphi$. При работе генератора с коэффициентом мощности, отличающимся от номинального, мощность генератора должна изменяться в пределах диаграммы мощности, указываемой в инструкции по эксплуатации. На рис. 8.5 в качестве примера показана диаграмма мощности турбогенератора мощностью 500 МВт.

Перегрузки по токам статора и ротора. В аварийных условиях генераторы допускают кратковременные перегрузки по токам статора и ротора.

По ГОСТ 183-74 турбогенераторы серии ТВФ должны выдерживать перегрузки по току статора $1,5I_{\text{ном}}$ в течение 2 мин; турбогенераторы серии ТВВ — $1,5I_{\text{ном}}$ в течение

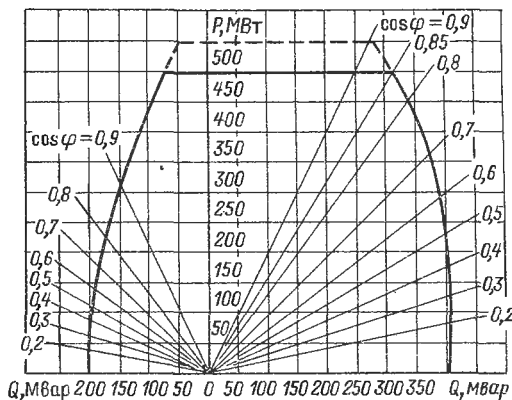


Рис. 8.5. Диаграмма мощности турбогенератора типа ТВВ-500-2

1 мин. По ГОСТ 533-85 ротор турбогенераторов должен выдерживать двукратный номинальный ток возбуждения для серий ТВФ и ТВВ мощностью до 800 МВт не менее 20 с, мощностью 800–1200 МВт — не менее 15 с. Перегрузки генераторов меньшей мощности указываются в инструкции по эксплуатации для каждого генератора.

Несимметричная нагрузка. Допускается продолжительная работа генератора при несимметричной нагрузке, если ток обратной последовательности не превышает 8% номинального значения тока статора, а токи в фазах не превышают номинального значения.

Несимметричные короткие замыкания. При несимметричных коротких замыканиях по термической стойкости ротора турбогенераторы должны выдерживать значения произведения квадрата тока обратной последовательности в относительных единицах на допустимое время работы в секундах ($I_2^2 t$), равное: 15 с — для турбогенераторов серии ТВФ; 8 с — для турбогенераторов серии ТВВ мощностью до 800 МВт включительно; 6 с — для турбогенераторов серии ТВВ мощностью 1000–1200 МВт.

Асинхронные режимы. Генератор допускает в аварийных условиях кратковременную работу без возбуждения в асинхронном режиме. Длительность работы без возбужде-

Таблица 8.6

Напряжение, %	110	109	108	107	106	105	100	95	90
Полная мощность, %	88	91	93,5	96,5	98	100	100	100	94,5
Ток статора, %	80	83,5	86,5	90	92,5	95	100	105	105

ния не должна быть более 15 мин, допустимая нагрузка при этом — не более 40% номинальной. Нагрузка должна быть снижена до 60% номинальной в течение первых 30 с после потери возбуждения, в последующие 1,5 мин — до 40% номинальной.

Включение генератора в сеть. В нормальных условиях генератор должен включаться в сеть методом точной синхронизации. В аварийных условиях допускается включение в сеть методом самосинхронизации, при этом ток статора, рассчитанный по сверхпереходному индуктивному сопротивлению, не должен превышать трехкратного номинального значения (с учетом индуктивного сопротивления энергосистемы).

Зависимость мощности от температуры охлаждающих сред. Номинальная температура охлаждающего водорода 40°C. При снижении температуры холодного водорода ниже номинальной мощность генератора повышать не разрешается. Снижение температуры водорода ниже 20°C не рекомендуется. При повышении температуры холодного водорода выше номинальной мощность должна быть уменьшена. Значения снижения мощности приводятся в инструкциях по эксплуатации турбогенераторов. Ориентировочное снижение нагрузки выполняется исходя из следующих соотношений: при повышении температуры холодного газа сверх номинальной в пределах 40–45°C допустимый ток статора снижается на 1,5% на каждый градус; в пределах 45–50°C — на 2% на каждый градус и в пределах 50–55°C — на 3% на каждый градус. Работа генератора при температуре холодного водорода выше 55°C не разрешается. Температура горячего газа не должна превышать 75°C.

Температура холодного дистиллята должна находиться в пределах 35–45°C или 30–40°C в зависимости от значений, указанных в ТУ и инструкции по эксплуатации.

Номинальная температура охлаждающей воды в газоохладителях 33°C. Наименьшая температура охлаждающей воды 15°C.

8.2.9. Ударные турбогенераторы

Рабочим режимом для ударных турбогенераторов является внезапное короткое замыкание в режиме холостого хода возбужденного генератора при синхронной скорости. При этом генератор перед коротким замыканием обычно возбуждают до номинального напряжения, а при включении на короткое замыкание производят дополнительную форсировку возбуждения.

Ударные турбогенераторы характеризуются низким значением сверхпереходного индуктивного сопротивления x_d'' . Ударная мощность генератора

$$P_{уд} = \sqrt{3} U_{л} I_{уд},$$

где $U_{л}$ — линейное напряжение, соответствующее напряжению холостого хода; $I_{уд}$ — периодическая составляющая ударного тока короткого замыкания.

Для обеспечения низкого значения x_d'' ударные турбогенераторы имеют уменьшенное число витков обмотки статора, в них используются пазы статора большей ширины и меньшей глубины, чем в турбогенераторах обычного исполнения. Они имеют меньший воздушный зазор и повышенные индукции в стали. Лобовые части обмотки статора ударных генераторов экранируются.

Так как ударные турбогенераторы должны допускать многократные короткие замыкания, их конструкция имеет повышенную механическую и термическую стойкость. Ротор ударного турбогенератора снабжен мощной демпферной системой, выполненной из медных полос, расположенных поверх обмотки возбуждения и соединенных между собой в торцевой зоне ротора медными короткозамыкающими сегментами. Для уменьшения ударных нагрузок на фундамент при коротких замыканиях статор устанавливается на амортизаторах, дающих усадку в момент замыкания.

Кратковременный характер нагрузки ударных генераторов обуславливает применение в них воздушного охлаждения.

Основные технические данные трехфазного ударного турбогенератора типа ТИ-100-2

Номинальная мощность, МВ·А	100
Номинальное напряжение, кВ	12
Номинальный ток, кА	4,82
Ударная мощность, МВ·А	2500
Частота вращения, об/мин	3000
Номинальное значение симметричного ударного тока, кА	118
Синхронное индуктивное сопротивление, о. е	0,91
Сверхпереходное индуктивное сопротивление, о. е	0,03
Переходное индуктивное сопротивление, о. е	0,082
Постоянная времени сверхпереходная, с	0,176
Постоянная времени переходная, с	1,41
Масса, 10 ³ кг:	
статора	180
ротора	42
общая	252
Диаметр ротора, мм	1010
Длина активной части ротора, мм	5600

Тип обмотки статора	Двух- слой- ная
Основные габаритные размеры, мм:	
общая длина	14 480
расстояние от подшипника до центра генератора	4120
высота	4200
ширина	6100
высота оси вала	1500

При работе ударного генератора типа ТИ-100-2 в качестве накопителя энергии он характеризуется следующими данными:

Запас энергии в роторе, 10^8 Дж . . .	2,95
Максимальная энергия импульса длительностью 0,01 с при двухфазном коротком замыкании на активную нагрузку, 10^7 Дж	0,6
Отдача энергии при работе на индуктивную нагрузку, 10^6 Дж	3,6

8.3. Гидрогенераторы

8.3.1. Классификация гидрогенераторов

Гидрогенераторы — синхронные генераторы, приводимые во вращение гидравлическими турбинами, выпускаются в широкой номенклатуре мощностей до 800 МВт на частоты вращения от 46,9 до 1500 об/мин, напряжением до 18 кВ. По типу гидравлической турбины гидрогенераторы делятся на вертикальные и горизонтальные, а также обратимые для работы в качестве генератора или двигателя.

Гидрогенераторы выпускаются для климатического исполнения УХЛ4, Т4 и ТВ4.

Система вентиляции гидрогенераторов, за исключением машин малой мощности, замкнутая. Гидрогенераторы большой мощности выпускаются с непосредственным водяным охлаждением обмотки статора.

8.3.2. Конструкция и технические данные вертикальных гидрогенераторов нормального исполнения

Генераторы с вертикальным валом подразделяются на два основных типа — подвесные и зонтичные, отличающиеся друг от друга расположением подпятника относительно ротора. При частотах вращения до 200 об/мин гидрогенераторы выполняются преимущественно в зонтичном исполнении, свыше 200 об/мин — в подвесном. При частотах вращения свыше 250 об/мин вертикальные гидрогенераторы выполняются исключительно в подвесном исполнении. От-

меченные границы различных исполнений гидрогенераторов не являются строгими.

В генераторах подвесного типа подпятник расположен выше ротора, на верхней крестовине, через которую вертикальная нагрузка от вращающихся частей агрегата и осевой составляющей реакции воды передается на корпус статора и затем на фундамент.

Обычно в генераторе устанавливаются два направляющих подшипника, из которых нижний встроен в нижнюю крестовину, а верхний — в верхнюю грузонесущую крестовину. Если расстояние между верхним подшипником генератора и подшипником турбины относительно невелико и жесткость вала достаточна, нижний генераторный подшипник может не устанавливаться.

В генераторах зонтичного типа подпятник расположен под ротором. При этом различаются две основные модификации: с опорой подпятника на крышку турбины или с нижней опорной крестовиной. В настоящее время в мощных агрегатах, как правило, применяется первая из этих модификаций.

В генераторах с опорой подпятника на крышку турбины устанавливается один направляющий подшипник выше ротора в верхней крестовине. Известен тип генератора с опорой подпятника на крышку турбины и одним направляющим подшипником ниже ротора, но эта компоновка генератора в отечественной практике не используется.

Широкое распространение получила безвальная конструкция гидрогенераторов в зонтичном исполнении. В зонтичных генераторах с опорными крестовинами основной генераторный подшипник расположен в опорной крестовине. Необходимость установки второго направляющего подшипника в верхней крестовине возникает в тех случаях, когда выше ротора размещены значительно удаленные от подшипника возбудитель, подвозбудитель, вспомогательный генератор или разгонный двигатель (в обратимых гидрогенераторах).

Число направляющих подшипников определяется допустимыми прогибами вала при появлении магнитного небаланса и критической частотой вращения, которая должна быть не менее чем на 10—20% выше угловой частоты вращения.

Современное направление в области проектирования гидрогенераторов большой мощности характеризуется стремлением расширить области применения зонтичного исполнения гидрогенераторов. Зонтичное исполнение имеет ряд важных преимуществ: возможность выполнения подпятников на

максимальные, практически требуемые нагрузки, превышающие 3500 т при наиболее простых и экономических конструктивных формах опорных элементов; наиболее простую по конструкции и наименее металлоемкую верхнюю крестовину; возможность применения конструкции ротора без основного генераторного вала, что обуславливает снижение высоты подъема станционного крана и, таким образом, дает возможность снизить высоту машинного вала; меньшие высоту и массу генератора, а следовательно, меньшую его стоимость; меньшие капитальные вложения на строительство станции.

При малом диаметре турбины зонтичное исполнение может оказаться невозможным из-за того, что в шахте турбины не удастся разместить подпятник. К тому же подпятник зонтичного агрегата, как правило, больше, чем подвесного, так как его внутренний диаметр должен быть больше фланца вала, проносимого через него при сборке и разборке агрегата. При размещении подпятника в шахте турбины или над ней его большие размеры затрудняют циркуляцию воздуха через генератор и обслуживание агрегата.

Подвесной тип генератора применяется тогда, когда зонтичный невыполним, невыгоден или обладает значительно худшими эксплуатационными характеристиками. Подвесной тип выполним практически всегда, но при очень больших диаметрах генератора размещение подпятника выше ротора на верхней опорной крестовине ведет к значительному утяжелению и удорожанию генератора.

К важным эксплуатационным преимуществам генераторов подвесного исполнения следует отнести меньшие потери на трение в подпятнике благодаря более низкой окружающей скорости на нем, возможность обслуживания подпятника с помощью крана машинного зала и более надежную, чем в зонтичных машинах, защиту обмоток от масляных паров, поступающих из ванны подпятника.

Корпус статора гидрогенератора представляет собой кольцевую или многогранную сварную конструкцию, состоящую из внешней обшивки, горизонтальных полок и ребер жесткости. С внутренней стороны к полкам корпуса приварены полосы с «ласточкиными хвостами», на которых собирают сегменты активной стали сердечника статора. В осевом направлении сердечник стягивают с помощью нажимных гребенок шпильками. Гребенки состоят из толстых плит и приваренных к ним нажимных паль-

цев. Последние в мощных генераторах для снижения нагрева выполняются из немагнитной стали.

Для транспортировки по железной дороге статор, если внешний диаметр его корпуса превосходит 4 м, выполняется разъемным из двух — шести секторов, соединенных между собой с помощью стяжных шпилек и стыковых плит. Известна конструкция статора, при которой секторы соединяются между собой накладками, привариваемыми к горизонтальным полкам корпуса. Разъемы выполняются преимущественно по пазам сердечника. При ширине зубца 50 мм и более разъемы могут быть выполнены по зубцам сердечника. В последние годы сердечники статоров гидрогенераторов большого диаметра шихтуются в кольцо непосредственно на месте установки, чем исключаются стыки секторов — наиболее уязвимые при эксплуатации зоны. Кроме того, в ряде случаев применяется конструкция статоров с созданием предварительного (растягивающего) напряжения сердечника, чем исключается возможность появления в нем при работе опасных сжимающих напряжений от тепловых деформаций и магнитных тяжений — главной причины нарушения формы пакетов сердечника и его распрессовки.

Корпус опирается на фундамент через опорные плиты с фундаментными болтами.

Сердечник статора собирается из сегментов с пазами для обмотки и для «ласточкиных хвостов». Сегменты штампуются из листов высоколегированной электротехнической стали толщиной 0,5 или 0,35 мм, лакируются и набираются вперекрой пакетами с промежутками (вентиляционными каналами) шириной 7—10 мм. Расстояние между пакетами обеспечивается дистанционными распорками в виде двутавровых балочек, приваренных к крайнему листу одного из соседних пакетов. Крайние пакеты сердечников крупных генераторов для придания им большей монолитности выполняются запеченными.

Обмотка статора применяется двух основных типов: многовитковая катушечная и стержневая. Катушечная, как правило, бывает двухслойной, стержневая может быть также однослойной или в отдельных случаях может иметь дробное число слоев. Катушечную обмотку выполняют в виде одинаковых катушек, намотанных из прямоугольных медных изолированных проводников. Для уменьшения добавочных потерь выводные концы катушек транспортируют на 180° скручиванием их в одном месте. Аналогично транспортируют соединения между катушеч-

ными группами одной фазы, расположенными под разными полюсами. Стержневая обмотка состоит из стержней, полностью транспонированных на длине пазовой части. В отличие от катушечных стержневые обмотки выполняют, как правило, волновыми. В отдельных случаях, особенно при числе полюсов $2p \leq 10$, могут с успехом применяться и стержневые петлевые обмотки.

Обмотки генераторов с непосредственным охлаждением водой изготавливают с применением полых проводников. На концах стержней устанавливают наконечники для подвода воды внутрь стержней и для создания электрического контакта между ними. Соединение групп стержней с напорным и сливным коллекторами осуществляют с помощью изоляционных шлангов.

Обмотка в пазовой части крепится клиньями, в лобовой части — с помощью вязки стержней шнуром между собой и к бандажным кольцам, выполненным из немагнитной стали.

Ротор генератора выполняет также функции вентилятора, создающего необходимый напор для вентиляции, и маховика, обеспечивающего устойчивость работы агрегата. Различия основных конструктивных типов роторов определяются условиями прочности и транспортировки. При небольших диаметрах ротора применяются конструкции, в которых обод и остов составляют одно целое и состоят из дисков, насаженных непосредственно на вал. Такие роторы специфичны для быстроходных генераторов высоконапорных станций, куда они доставляются автотранспортом. В этом случае ограничения накладываются не только габаритами, но и массой ротора.

При диаметре ротора около 6 м остов выполняется в виде сварного неразъемного барабана, насаженного на вал, а обод — шихтованным из штампованных сегментов, собранных на шпильках в кольцо. При диаметре ротора около 7 м остов представляет собой сварной барабан, состоящий по условиям транспортировки из двух частей, собираемых на центральной втулке. Для роторов с диаметрами более 8 м применяется остов, состоящий из отдельных спиц, соединяемых с центральной втулкой. Модификация такой конструкции находит использование и при меньших диаметрах роторов, при этом некоторые спицы делаются съемными, обычно две или четыре, расположенные диаметрально, что при диаметре ротора меньше 8 м дает возможность транспортировать остов по железной дороге. Соединение спиц с центральной частью ротора производится с по-

мощью либо стыковых плит и стяжных шпилек, либо двух дисков и призонных конических шпилек.

Обод ротора в крупных генераторах, как правило, шихтованный, он собирается вперекрой из отдельных сегментов, отштампованных из стали толщиной 3–4 мм. Сегменты охватывают обычно четыре полюсных деления, в них выштамповываются отверстия для стяжных шпилек, пазы для хвостов полюсов и пазы для клиновых шпонок, которые забиваются между ободом ротора и торцевыми брусками спиц. В торцевых брусках посадка обода на роторную звезду и его расклиновка производится с подогревом, создающим необходимый натяг.

По высоте обод ротора подразделяется на отдельные пакеты, между которыми имеются каналы для прохода охлаждающего воздуха.

На торцах обода устанавливают вентиляторы — центробежные или ковшовые, а в быстроходных машинах — осевые. Во многих современных гидрогенераторах вентиляторы отсутствуют, их роль выполняют торцевые части полюсов.

Полюсы ротора изготавливают обычно шихтованными, из стали толщиной 1–2 мм. Сердечники стягивают с помощью стальных кованых или литых щек и стяжных шпилек. К ободу ротора полюсы крепят одним или несколькими Т-образными хвостами, которые отштамповывают вместе с сердечниками полюсов. В отдельных случаях применяют массивные полюсы.

Сердечник полюса изолируют твердопрессованной гильзой из стеклоткани и асбестовой бумаги. Башмак (наконечник), полюсы и козырьки щек, а также обод ротора изолируют от катушек полюсов изоляционными шайбами, изготавливаемыми из стеклотекстолита.

Витки катушки возбуждения выполняют из неизолированной меди прямоугольного профиля или специального профиля «топорик». Для изоляции витков обмотки возбуждения служат прокладки из асбестовой бумаги, наклеиваемые с обеих сторон на поверхность меди. Для того чтобы катушка возбуждения плотно прижималась к башмаку полюса, в специальных пазах обода ротора размещены пружины, сжимающие катушку.

Для удержания катушек возбуждения от тангенциального перемещения в быстроходных машинах применяются либо распорки, прикрепляемые к ободу ротора, либо скобы, которые крепятся непосредственно к сердечнику полюса.

Катушки отдельных полюсов соединяют друг с другом последовательно гибкими переключками из пакетов тонколистовой фосфористой бронзы толщиной около 0,2 мм, что обеспечивает прочность и эластичность соединений. В последнее время широко применяется соединение катушек полюсов с помощью массивных медных шин, располагаемых и закрепляемых на ободе ротора.

Демпферная обмотка размещается в башмаках полюсов и состоит обычно из круглых медных стержней, концы которых впаяны в медные шины-сегменты. Сегменты разных полюсов соединяют между собой с помощью компенсаторов из медной фольги. В генераторах с повышенными центробежными силами межполюсные соединения прикрепляют специальными оттяжками к ободу ротора.

Вал генератора выполняют стальным, кованым или сварно-кованым с внутренним отверстием, которое используется для впуска воздуха под рабочее колесо радиально-осевой турбины. Нижний конец вала генератора жестко соединен с валом турбины с помощью фланцевого соединения. Вал генератора опирается при помощи опорной втулки на диск подшипника. Иногда вместе с валом отковывают колоколообразные шейки для направляющих подшипников.

В зонтичных генераторах верхнюю часть вала, на которой установлены контактные кольца и регуляторный генератор, часто изготавливают надставной. Часто встречаются безвалынные конструкции генераторов, в которых вал турбины присоединяют непосредственно к центральной части ротора, а сверху к ней крепят надставку вала.

Токоподвод к обмотке возбуждения от контактных колец осуществляют изолируемыми шинами, закрепленными на валу и на роторе изоляционными зажимами. Если верхний направляющий подшипник расположен ниже контактных колец, токоподвод проходит под втулкой подшипника в пазу вала и закрепляется в нем клиньями.

Верхняя и нижняя крестовины предназначены для восприятия и передачи на фундамент усилий, действующих в аксиальном и радиальном направлениях. Крестовины, поддерживающие вращающиеся части агрегата (в генераторах подвешенного исполнения — верхняя, а в генераторах зонтичного исполнения — нижняя), называются опорными. Опорные крестовины бывают двух типов: лучевой и мостовой конструкции. При относительно небольших нагрузках (до 7 МН) и пролетах до 6,5 м применяют крестовины мостового типа с четырьмя лапами.

При больших нагрузках требуется увеличение числа лап, что приводит к лучевому типу опорной крестовины.

Мостовая крестовина по конструкции проще лучевой, так как по условиям транспортировки ее не приходится делать разъемной. Однако при больших пролетах мостовые крестовины не применяют из-за их недостаточной жесткости в поперечном направлении.

Лучевая крестовина состоит из центральной части, представляющей собой цельносварной барабан, и отъемных лап в виде балок двутаврового сечения, присоединяемых к центральной части обычно с помощью стыковых плит и проходных шпилек. Если подпятник расположен на крестовине, то под ним в центральной части помещается массивное поддерживающее кольцо, обеспечивающее равномерную жесткость под всеми опорами сегментов подпятника. В тех случаях, когда высотный габарит агрегата ограничен, подпятник встраивается в центральную часть, конструкция которой подобна конструкции центральной части мостовой крестовины.

К негрузонесущим крестовинам относятся нижние в генераторах подвешенного исполнения и верхние в зонтичных генераторах. Первые из них служат опорой для нижнего направляющего подшипника, а также во многих случаях для тормозов. Нижняя крестовина с направляющим подшипником должна иметь достаточную радиальную жесткость для передачи нагрузки от подшипника на фундамент. Поэтому нижние крестовины генераторов подвешенного типа, как правило, выполняются лучевыми. При необходимости лапы крестовины делают отъемными, при этом учитываются условия ее транспортировки и возможность выема крестовины через статор.

Конструкция верхней крестовины зонтичного генератора подобна конструкции опорной крестовины генератора подвешенного типа с вынесенным подпятником. Если верхний направляющий подшипник отсутствует, центральная часть крестовины лучевого типа выполняется в виде двух дисков, связывающих лапы.

В мостовых генераторах лапы верхней крестовины для обеспечения восприятия усилий от механического и магнитного небаланса упираются в радиальном направлении в бетонный кожух генератора через винтовые домкраты.

Вследствие больших маховых масс агрегата и протечек воды через направляющий аппарат турбины агрегат после отключения

от сети и закрытия направляющего аппарата может вращаться продолжительное время. Длительное вращение ротора при малых скоростях при ухудшенных условиях смазки подпятника может вызвать большой износ подпятника и даже аварию. Чтобы избежать этого, производят торможение агрегата перед остановом.

Торможение осуществляется установленными на нижней крестовине или фундаменте пневматическими тормозами поршневого типа с резиновыми манжетами и с колодками из фрикционного и нагревостойкого материала, например типа ретинакс. При торможении колодки упираются в тормозные сегменты, укрепленные на ободе или остоле ротора. Для торможения применяется сжатый воздух при давлении 0,7—0,8 МПа.

Тормоза служат также домкратами для подъема ротора на высоту до 20 мм. Поскольку в этом случае требуются большие усилия, при подъеме в тормоза подается масло под давлением от специального переносного насоса. Давление на поверхность поршней тормозов-домкратов при этом не должно быть более 12 МПа.

Подпятник является одной из наиболее ответственных частей генератора, требующих особого внимания при эксплуатации. Подпятник воспринимает вес вращающихся частей агрегата и осевую составляющую реакции воды и передает их на фундамент. В современных генераторах применяют подпятники, состоящие из вращающегося диска-пята и неподвижных сегментов — собственно подпятника.

Диск представляет собой кольцо, связанное с валом посредством втулки. В подвесных генераторах это отдельная втулка, в зонтичных — втулка ротора. Поверхность трения кольца, так называемое зеркало, полируется до получения чистоты, соответствующей восьмому классу, а отклонения от плоскостности и параллельности поверхностей диска не превышают 0,03 мм. Материалом для диска служат поковки из стали 45. Для защиты от подшипниковых токов диск подпятника, а также штифты и болты, с помощью которых он крепится к втулке, изолируют.

Поверхность стальных сегментов покрыта слоем баббита марки Б-83. В отдельных случаях баббит наносят на предварительно омедненную поверхность сегмента, что обеспечивает лучшее сцепление баббита с телом сегмента и более интенсивную передачу тепла с поверхности трения. Наряду с баббитом для облицовки сегментов подпятника

в отечественной практике нашла широкое распространение облицовка сегментов подпятника фторопластом. Сегменты такого типа, получившие название ЭМП сегмента (эластичного, металлопластмассового) состоят из стального основания и антифрикционного элемента. Антифрикционный элемент образуется из спрессованной бронзовой проволоки с нанесенным на нее покрытие из фторопласта Ф-4 толщиной 1,5—2,5 мм. Антифрикционный элемент припаивают к стальному основанию оловянистым припоем.

Для уменьшения тепловых деформаций применяются сегменты, разделенные по толщине на два слоя с большим термическим сопротивлением стыка. Относительно тонкий верхний рабочий сегмент покоится на нижнем массивном, температура которого сравнительно мало отличается от температуры окружающей среды и достаточно равномерна по всей толщине.

При большом удельном выделении тепла на поверхности трения, т. е. при больших нагрузках и окружных скоростях, используется непосредственное охлаждение водой, циркулирующей по медному змеевику в теле сегмента. Сегмент в этом случае выполняется литым из латуни, имеющей температуру плавления ниже, чем медь.

Положение сегментов ограничено упором на корпусе подпятника. Сегмент лежит на тарелкообразной эластичной опоре, компенсирующей в известной мере возможную неравномерность нагрузки между отдельными сегментами и биение диска при вращении, и опирается на сферическую поверхность опорного болта, ввернутого в приваренную к основанию подпятника гайку. Тем самым достигается принцип самоустанавливания сегментов в положение, наиболее выгодное для образования масляной пленки между поверхностями трения. Верхнюю часть болта изготовляют в виде отдельного вкладыша из высокопрочной стали. Регулировкой опорных болтов достигается равномерное распределение нагрузки между сегментами. Для облегчения образования масляной пленки центр сегмента сдвинут против вращения относительно опорного болта примерно на 1/10—1/20 ширины сегмента.

Наряду с описанной выше конструкцией подпятника на регулируемых винтовых опорах находят применение подпятники на гидравлических опорах, в которых тарелки сегментов установлены на сифонах, заполненных маслом. Внутренние полости сифонов соединены между собой, и давление масла в них одинаково, благодаря чему

нагрузки на сегменты при неподвижном подпятнике практически одинаковы. При вращении выравнивание нагрузки между сегментами полностью не достигается, так как перетекание масла в системе не успевает за быстрыми колебаниями нагрузки на сегменты.

При нагрузке 30 МН и более применяется двухрядный подпятник, в котором сегменты расположены в двух концентрических рядах, что позволяет уменьшить нагрузку на один опорный болт и размеры сегментов. Опоры двух смежных сегментов внешнего и внутреннего рядов установлены на балансирах в виде призматического бруса, опирающегося на цилиндрическую опору, закрепленную в корпусе. Распределение нагрузки между рядами сегментов производится регулировкой опорных болтов внешнего ряда.

Среднее давление на поверхности трения сегмента составляет обычно около 4 МПа и достигает в высоконагруженных подпятниках 6 МПа. Нагрузка на один опорный болт не превышает 1,5 МН. В подпятниках с тяжелыми условиями пуска и давлениями от веса вращающихся частей агрегата более 2,2 МПа предусматривают при пусках и остановках принудительную подачу на плоскость трения масла под давлением (до 10–12 МПа). Для подачи масла в сегментах подпятника предусматривают отверстия, выходящие на поверхность трения. Подачу масла производят через обратный клапан так, чтобы после отключения насоса давление в масляном клине не падало.

Корпус подпятника крепят к днищу масляной ванны подпятника или к верхнему диску опорной крестовины.

Для охлаждения и смазки подпятника применяют минеральное масло, заполняющее ванну подпятника. Циркулируя под воздействием вращающегося диска, масло охлаждает сегменты и диск и отдает выделяющееся на поверхности трения тепло трубчатым маслоохладителям, по которым протекает техническая вода. Для обычно используемых в маслоохладителях гладких латунных и томпаковых трубок диаметром 17/19 мм на 1 кВт потерь в подпятнике используется 3,5–4,5 м трубок. В тех случаях, когда разместить необходимое количество трубок маслоохладителей в ванне не представляется возможным или когда в технической воде содержатся абразивные частицы и агрессивные примеси, способные разрушить материал трубок, применяется выносная система охлаждения с принудительной циркуляцией масла.

Направляющие подшипники в современных генераторах выполняются исключительно с самоустанавливающимися сегментами. Сегменты в радиальном направлении опираются на регулировочные опорные болты, ввинченные в отдельные втулки, которые запрессованы в корпус подшипника. Опора сегмента, так же как и в подпятнике, смещается от середины против вращения для облегчения поворота сегмента и образования масляного клина. Поверхность сегментов облицовывается баббитом марки Б-16.

При нормальных условиях направляющие подшипники не воспринимают сколь угодно значительных нагрузок. Однако возможны аварийные состояния, при которых возникает одностороннее притяжение ротора к статору.

Шейка вала имеет в пределах подшипника форму колокола, под который входит внутренняя часть масляной ванны — выгородка. Сегменты подшипника погружают в масло на $1/3$ – $1/2$ высоты сегмента. Благодаря давлению, развивающемуся в масляном клине между сегментом и шейкой, масло растекается по всей поверхности сегмента и обеспечивает смазку непогруженной части подшипника. Дополнительным источником смазки являются радиальные отверстия в шейке, работающие как центробежный насос.

Масло, циркулирующее в ванне, охлаждается встроенными в нее трубчатыми маслоохладителями.

Подшипники, расположенные выше ротора, изолируют. Нижние направляющие подшипники, как правило, не изолируют.

В подавляющем большинстве случаев генераторы выполняют с системой косвенного воздушного охлаждения. Воздух циркулирует по замкнутому циклу и охлаждается в воздухоохладителях.

Напор, необходимый для преодоления аэродинамических сопротивлений каналов в собственном генераторе, воздухоохладителя и воздухоподводящих каналах вне генератора, создается вращающимся ротором и установленными на его торцах вентиляторами. При наиболее распространенной схеме самовентиляции по замкнутому циклу нагретый в активных частях машины воздух выходит из вентиляционных каналов сердечника в полость статора, далее через воздухоохладители направляется двумя отдельными потоками мимо торцов статора и вновь засасывается вентилирующим действием ротора.

Воздухоохладители, размещенные вокруг генератора, присоединяются к корпусу

статора непосредственно или через патрубки шириной около 400 мм. Патрубки способствуют выравниванию скоростей воздуха по поверхности охладителей. В боковых стенках патрубков предусматривают дверцы, через которые можно попасть внутрь корпуса для осмотра как самих охладителей, так и крепления сердечника статора к корпусу.

Когда генератор работает с отбором горячего воздуха для обогрева машинного зала (допускается обычно отбор до 15% суммарного расхода воздуха через генератор), необходимо обеспечить подачу соответствующего количества воздуха для компенсаций отбора. Горячий воздух выводится из патрубков воздухоохладителей или из корпуса статора по специальным кожухам и затем через верхнее перекрытие генератора попадает в машинный зал.

Наибольшая скорость воздуха в каналах вне генератора не должна превышать 5 м/с, падение давления воздуха вне генератора и воздухоохладителей не должно превышать 100 Па.

В гидрогенераторах малой мощности применяется также разомкнутая система вентиляции.

Принудительное охлаждение находит применение прежде всего в гидрогенераторах большой мощности, в крупных генераторах с высокими частотами вращения, в капсульных и некоторых обратимых гидрогенераторах. Это прежде всего жидкостные системы непосредственного охлаждения обмоток и сердечников. Внедрение этих систем, характеризующихся большей эффективностью и экономичностью, позволило повысить удельные электромагнитные и тепловые нагрузки машин и их единичную мощность. При этом в гидрогенераторах в качестве охлаждающего агента используется вода.

Практически реализованы конструктивные схемы непосредственного водяного охлаждения всех основных элементов гидрогенераторов, в которых имеют место значительные потери (обмотки статора и возбуждения, шинопроводы, сердечники статора и полюсы ротора, демпферная обмотка, нажимные гребенки статора).

Во многих случаях выполняются системы охлаждения смешанного типа, в которых для одних, наиболее напряженных в тепловом отношении элементов используется непосредственное водяное охлаждение, для других — воздушное. Примером могут служить крупнейшие гидрогенераторы Саяно-Шушенской и Красноярской ГЭС, в которых обмотки и шины обмотки статора охлаждаются непосредственно водой, об-

мотки возбуждения выполнены с форсированным воздушным охлаждением, причем форсирование охлаждения достигается выполнением поперечных каналов в витках катушек полюсов, а остальные элементы конструкции имеют традиционное косвенное воздушное охлаждение.

Внешняя система циркуляции дистиллята включает в себя водяные насосы, теплообменники, фильтры механической очистки, магнитные фильтры, ионообменный фильтр, водяной бак, а также контрольно-измерительную аппаратуру, средства защиты и сигнализации. Все баки, трубопроводы, арматура и аппаратура замкнутой циркуляционной системы выполняются из некоррозирующих материалов. Дистиллят подается в обмотку двумя центробежными насосами с электродвигателями переменного тока, из которых один — рабочий, а другой — резервный. Для контроля за циркуляцией дистиллята устанавливаются расходомеры. Из насоса дистиллят поступает в водяные теплообменники, где охлаждается до необходимой температуры, затем — в сетчатые фильтры механической очистки и магнитные фильтры, где очищается от случайных ферромагнитных частиц, после этого дистиллят поступает в обмотку и далее в водяной бак и вновь к насосам. В водяном баке поддерживается небольшое избыточное давление азота для предотвращения попадания в дистиллят воздуха. Снижение до минимума содержания в дистилляте углекислого газа CO_2 и кислорода O_2 имеет особенно важное значение, так как именно ими в значительной мере определяется интенсивность протекающих в каналах проводников химических процессов. Поэтому в современных системах водяного охлаждения мощных гидрогенераторов применяются различные способы дегазации и декарбонизации дистиллята.

В процессе эксплуатации периодически включается ионообменный фильтр, используемый для обессоливания воды и поддерживающий высокое удельное электрическое сопротивление дистиллята. Минимально допустимое значение удельного электрического сопротивления дистиллята, по достижении которого подается предупреждающий сигнал, устанавливается обычно в диапазоне 75–100 кОм·см. Дистиллят должен быть нейтральным по отношению ко всем материалам водяного тракта.

Надежность работы системы циркуляции дистиллята обеспечивается контрольно-измерительными устройствами, светозвуковой технологической сигнализацией и автоматикой. Автоматически контролируются

Таблица 8.7. Технические данные гидрогенераторов зонтичного исполнения

Тип гидрогенератора	Мощность пол- ная, МВ·А	Напряжение ста- тора, кВ	Ток статора, А	cos φ	Частота враще- ния, об/мин	Угловая частота вращения, об/мин	Ток возбужде- ния, А	Напряжение возбуждения, В	КПД, %	Внутренний диаметр стато- ра, мм	Масса, 10 ³ кг			Нагрузка на пятю, МН	Индуктивные сопротивления, о. е.					
											общая	ста- тора	рото- ра		x_{σ}	x_d	x'_d	x''_d	x_q	x''_q
СВФ 1285/275-42У4	711	15,75	26 100	0,9	142,8	280	3500	530	98,3	11 860	1790	530,5	912	32,5	0,184	1,58	0,43	0,3	0,97	0,31
СВФ 1690/175-64	590	15,75	21 600	0,85	93,8	180	3770	606	97,9	16 100	1650	400	884	26	0,202	1,57	0,41	0,3	0,96	0,32
ВГС 1190/215-48	282,5	15,75	10 360	0,85	125	230	1555	379	98,4	11 000	1212	380	620	16,45	0,173	1,22	0,38	0,25	0,78	0,25
СВ 1130/220-44ХЛ4	253	15,75	9280	0,85	136,4	300	2060	260	98,3	10 400	1295	358	644	32	0,137	1,05	0,32	0,21	0,60	0,21
СВ 1260/235-60Т	206	15,75	7560	0,85	100	210	1400	388	97,1	11 900	1350	354	710	21	0,143	1,01	0,33	0,22	0,67	0,23
СВ 1490/220-96ТВ4	195,5	13,8	8150	0,9	75	180	1620	555	98,05	14 190	1470	375	723	33,5	0,152	0,61	0,31	0,23	0,53	0,24
СВ 1500/175-84	190	15,75	6960	0,9	71,5	180	1720	374	98,2	14 190	1295	330,7	609,5	35	0,174	1,09	0,37	0,26	0,73	0,27
СВ 1420/190-80ТВ4	150	13,8	6280	0,9	75	225	1500	325	98,39	13 500	1230	342	620	26,2	0,131	0,85	0,28	0,2	0,56	0,2
СВ 1500/200-88	133,33	13,8	5580	0,9	68,2	140	1900	400	97,77	14 300	1410	356,5	767	34	0,093	0,54	0,20	0,15	0,36	0,16
СВ 1470/149-104УХЛ4	91,8	13,8	3840	0,85	57,7	119	1185	345	97,9	14 120	925	248,5	470	20,6	0,143	0,72	0,29	0,24	0,51	0,29

Продолжение

Тип гидрогенератора	Активное сопротив- ление при 75 °С, Ом		Постоянные времени, с		Момент инерции ротора, 10 ⁶ кг·м ²	Диаметр корпуса статора, мм	Диаметр шахты вокруг генератора, мм	Диаметр шахты под генератором, мм	Высота генератора от опорной поверхности статора до фланца, мм	Высота корпуса статора, мм	Полная высота генерато- ра, мм
	обмотки статора	обмотки возбуж- дения	T_{d0}	T'_{d0}							
СВФ 1285/275-42У4	0,0034	0,00066	8,21	0,143	25,5	14 800	17 500	9600	125	3700	8045
СВФ 1690/175-64	0,0054	0,00096	5,37	0,091	46,5	19 100	22 000	11 400	1300	3450	8350
ВГС 1190/215-48	0,0024	0,00039	10,54	—	13,75	13 642	15 700	8450	820	4740	6940
СВ 1130/220-44ХЛ4	0,0024	0,00038	9,6	0,065	11,25	11 420	16 000	9200	—	3810	7920
СВ 1260/235-60Т	0,0023	0,00043	8,2	0,08	18,25	14 500	17 300	8800	980	3950	8760
СВ 1490/220-96ТВ4	0,0030	0,00039	5,56	0,048	25	16 900	19 800	12 500	630	3570	8350
СВ 1500/175-84	0,0036	0,00058	6,45	0,062	20,5	16 900	19 800	12 500	—	3250	8150
СВ-1420/190-80ТВ4	0,0030	0,00039	7,45	0,048	18,75	16 100	18 500	12 100	605	3825	6140
СВ 1500/200-88	0,0037	0,00036	5,27	0,049	25	17 100	20 000	12 200	2760	3400	11 020
СВ 1470/149-104УХЛ4	0,0047	0,00046	5,3	0,06	15,5	16 500	19 000	13 870	140	2850	7420

Таблица 8.8. Технические данные гидрогенераторов подвесного исполнения

Тип гидрогенератора	Мощность пол- ная, МВ·А	Напряжение статора, кВ	Ток статора, А	cos φ	Частота вращения, об/мин		Ток возбужде- ния, А	Напряжение возбуждения, В	КПД, %	Внутренний диа- метр статора, мм	Масса, т			Нагрузка на пя- ту, МН	Индуктивные сопротивления, о. е.					
					номи- наль- ная	угол- ная					об- щая	ста- тора	рото- ра		x_{σ}	x_d	x_d'	x_d''	x_q	x_q''
СВ 710/235-20УХЛ4	203,5	13,8	8515	0,85	300	540	1730	205	98	5900	770	276,1	410	4,8	0,109	1,05	0,29	0,18	0,69	0,19
СВ 800/230-32УХЛ4	144,44	10,5	7940	0,9	187,5	330	1600	260	98,1	7200	790	209,2	435	10,5	0,143	1,16	0,35	0,22	0,78	0,23
СВ 627/230-20Т	127,7	11	6700	0,9	300	480	1500	163	98	5300	600	193	309	7,1	0,097	0,86	0,23	0,15	0,54	0,16
СВ 460/210-12	107	13,8	4480	0,8	500	835	1075	176	97,6	3600	424	146,6	182,55	4,67	0,117	1,44	0,28	0,18	0,82	0,18
СВ 430/210-14	68,75	10,5	3785	0,8	428,6	700	930	175	97,5	3500	272	90,13	168	4,35	0,111	1,14	0,28	0,19	0,69	0,2
СВ 505/190-16Т	66,7	11	3510	0,9	375	620	875	172	97,49	4200	425	125,4	221,4	5	0,084	0,88	0,22	0,13	0,54	0,14
СВ 375/195-12	65,5	10,5	3605	0,8	500	910	947	160	97,41	3000	293	83,35	133,5	1,8	0,096	1,29	0,28	0,16	0,77	0,16
СВ 735/115-30	63	10,5	3470	0,8	200	350	915	200	97,7	6600	410	116,2	172	4,5	0,118	1,06	0,27	0,18	0,65	0,18
СВ 425/110-16У4	31,25	10,5	1720	0,8	375	775	786	115	96,67	3500	230	64,3	110	2,2	0,119	1,22	0,28	0,2	0,73	0,23
СВ 663/100-40УХЛ4	31,18	10,5	1715	0,85	150	290	945	150	97,4	6050	310	78,315	127,85	5,35	0,168	1,17	0,34	0,25	0,75	0,27

Продолжение табл. 8.8

Тип гидрогенератора	Активное сопротивление при 75 °С, Ом		Постоянные временн., с		Момент инерции ротора, 10 ⁶ кг·м ²	Диаметр корпуса статора, мм	Диаметр шахты вокруг генератора, мм	Диаметр шахты под генератором, мм	Высота генератора от опорной поверхности статора до фланца, мм	Высота корпуса статора, - мм	Полная высота генера- тора, мм
	обмотки статора	обмотки возбуж- дения	T_{d0}	T'_d							
CB 710/235-20УХЛ4	0,0021	0,00024	15,61	0,093	1,75	8700	11 500	8100	200	3950	8085
CB 800/230-32УХЛ4	0,0022	0,00054	7,57	0,043	3,5	9200	11 540	5800	2360	3050	10 000
CB 627/230-20Т	0,00305	0,00033	9,0	0,074	1,12	7500	10 000	4750	1777	3750	11 900
CB 460/210-12	0,002	0,0004	12,0	0,059	0,22	6100	8500	3800	2280	—	10 980
CB 430/210-14	0,0021	0,00038	10,15	0,054	0,18	5500	8000	2900	2250	2920	10 450
CB 505/190-16Т	0,00185	0,00037	8,2	0,048	0,38	6862	8800	4100	2865	2740	11 515
CB 375/195-12	0,0028	0,00047	9,58	0,055	0,1	5200	7800	3500	2155	3510	10 600
CB 735/115-30	0,0036	0,00043	8,27	0,044	1,12	8500	10 500	5000	1425	2600	6400
CB 425/110-16У4	0,0039	0,00048	8,55	0,052	0,13	5150	6 400	3300	1600	2040	7250
CB 663/100-40УХЛ4	0,0059	0,00075	6,17	0,038	0,77	7780	9 600	6000	1025	—	7786

работа насосов, уровень дистиллята и давление в баке, расход, давление и температура дистиллята на входе и выходе обмоток, температура всех параллельных по ходу воды ветвей в обмотке статора.

При нахождении гидрогенератора в резерве во избежание окисления внутренней поверхности полых проводников и образования на ней отложений циркуляция дистиллята не прекращается.

В табл. 8.7 и 8.8 приведены основные технические данные гидрогенераторов различного исполнения. В пп. 8.3.3—8.3.6 приведено техническое описание, некоторых вертикальных гидрогенераторов.

8.3.3. Гидрогенератор для Саяно-Шушенской ГЭС

Крупнейшим отечественным гидрогенератором является гидрогенератор для Саяно-Шушенской ГЭС типа СВ 1285/275-42У4

мощностью 711 МВ·А, частотой вращения 142,8 об/мин (рис. 8.6).

Для достижения высоких технико-экономических показателей, снижения габаритов и массы в гидрогенераторе осуществлены непосредственное водяное охлаждение обмотки статора и форсированное воздушное охлаждение обмотки ротора.

На одном валу с главным генератором размещены вспомогательный генератор, который служит для питания независимой тиристорной системы возбуждения с двумя выпрямительными мостами — рабочим и форсировочным, и регуляторный генератор, являющийся датчиком частоты для электрогидравлического регулятора частоты вращения агрегата.

Конструктивное исполнение гидрогенератора — зонтичное с расположением подпятника на крышке турбины, с одним

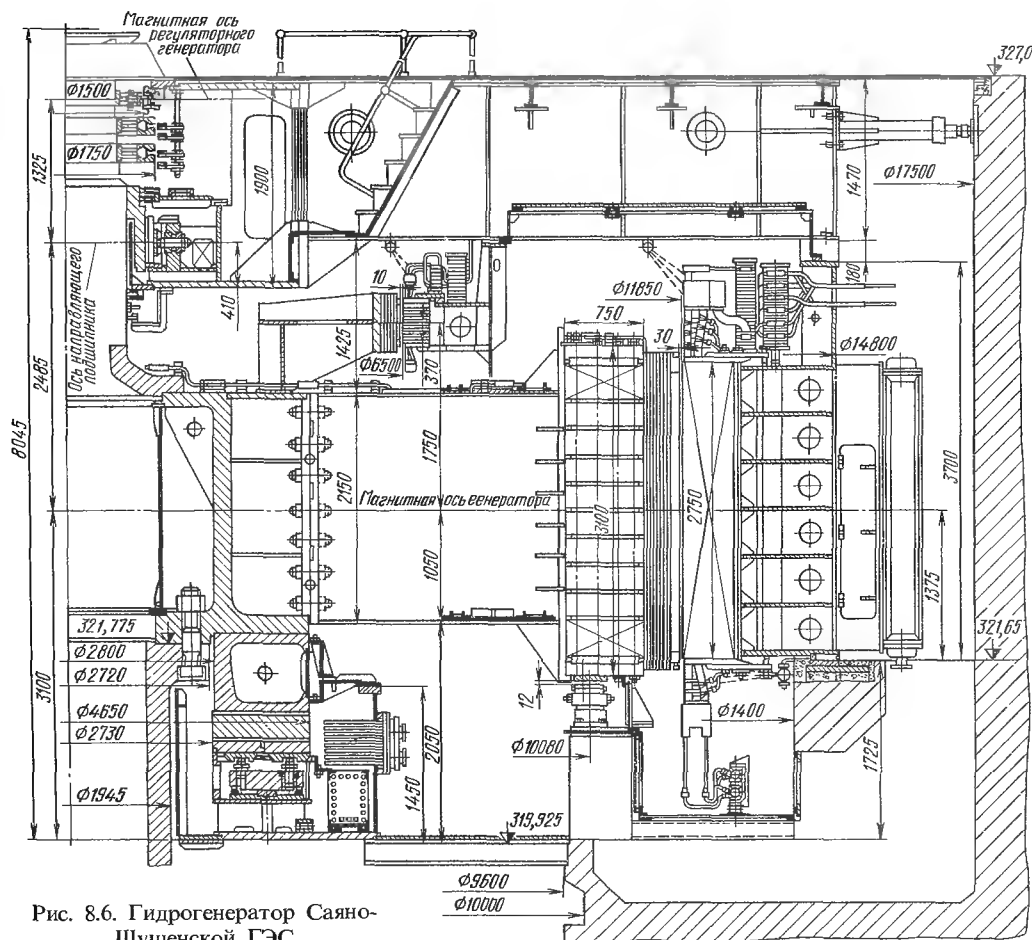


Рис. 8.6. Гидрогенератор Саяно-Шушенской ГЭС

направляющим подшипником в центральной части верхней крестовины.

Корпус статора выполнен из шести секторов.

Сердечник статора собирается на месте установки в кольцо без стыков. Обмотка статора — стержневая, волнового типа, с шестью параллельными ветвями в фазе. Изоляция обмотки — термореактивных связующих.

Ротор гидрогенератора — в безвальном исполнении: центральная часть ротора играет роль вала и соединяется непосредственно с помощью фланцевых соединений с валом турбины и с надставкой вала, на которой размещены две пары контактных колец и регуляторный генератор. К центральной части ротора крепят спицы, на которых набирают обод из штампованных сегментов, выполненных из высокопрочной листовой стали и стянутых шпильками. Полюсы ротора — шихтованные, их крепят к ободу при помощи Т-образных расклиненных хвостов.

Катушки обмотки возбуждения — сварные, их витки образованы из двух различных медных полос — прямоугольного и периодического профилей, между которыми организованы поперечные каналы для прохода охлаждающего воздуха.

Верхняя крестовина выполнена с цельносварной центральной частью и отъемными лапами. В центральную часть крестовины встроены направляющий подшипник с маслоохладителями. Подшипник — сегментный, в радиальном направлении сегменты опираются на сферическую поверхность винтовых регулируемых опор.

Двухрядный подшипник рассчитан на восприятие нагрузки 32,5 МН, имеет 40 самоустанавливающихся сегментов с балансирной связью смежных сегментов внутреннего и внешнего рядов. Подшипник расположен в масляной ванне, охлаждается встроенными трубчатыми маслоохладителями и снабжен устройством для принудительной подачи масла под давлением на плоскости трения сегментов, которое автоматически включается при пуске и остановке агрегата.

Для охлаждения активных частей гидрогенератора применены непосредственное водяное охлаждение обмотки статора дистиллятом и система вентиляции с использованием ротора в качестве напорного элемента.

Для торможения ротора при останове и подъеме его при ремонтных работах гидрогенератор снабжен 40 тормозами-домкратами, установленными на тумбах фундамента.

Система возбуждения гидрогенерато-

ра — независимая, тиристорная. На одном валу с гидрогенератором расположен вспомогательный генератор, питающий через тиристорный преобразователь обмотку ротора главного генератора. Обмотка статора вспомогательного генератора выполнена с отпайками для питания двух выпрямительных мостов — рабочего и форсировочного.

В качестве регуляторного генератора применен синхронный генератор трехфазного тока с возбуждением от постоянных магнитов. Он предназначен для питания электродинамического регулятора частоты вращения гидрогенератора и электрического реле оборотов.

8.3.4. Гидрогенератор для ГЭС Сальто-Гранде

Примером современного исполнения гидрогенераторов средней мощности являются генераторы для ГЭС Сальто-Гранде (Аргентина—Уругвай) мощностью 135 МВт, 13,8 кВ, 75 об/мин.

Конструктивное исполнение гидрогенератора — зонтичное с расположением подпятника на конической подставке, установленной на крышке турбины, с одним направляющим подшипником в центральной части верхней крестовины.

Статор гидрогенератора для удобства транспортировки выполнен из шести частей. Сердечник статора набирается из штампованных сегментов холоднокатаной электротехнической стали, покрытых с обеих сторон изоляционным лаком. Обмотка статора — стержневая, волновая, двухслойная. Корпусная изоляция стержней обмотки и переемычек — класса нагревостойкости В.

Ротор гидрогенератора состоит из сварного спицевого остова, обода, набираемого из штампованных сегментов, полюсов с обмоткой возбуждения и демпферной обмоткой, токоподвода от обмотки возбуждения до контактных колец и вала-надставки с втулкой направляющего подшипника. К нижнему фланцу остова ротора присоединяется вал турбины.

Верхняя крестовина выполнена с цельносварной центральной частью и отъемными лапами. В центральную часть крестовины встроены направляющий подшипник с маслоохладителями. Подшипник сегментный; в радиальном направлении сегменты опираются на сферическую поверхность винтовых регулируемых опор.

Двухрядный подшипник рассчитан на нагрузку 26,2 МН, имеет 18 пар самоустанавливающихся опорных сегментов, располо-

женных двумя концентрическими кольцами. В радиальном направлении сегменты через эластичные тарельчатые опоры и регулируемые опорные болты попарно связаны балансирами, которые опираются на цилиндрическую поверхность своих опор. Сегменты подпятника и подшипника облицованы баббитом.

Подпятник расположен в масляной ванне и охлаждается встроенными трубчатыми маслоохладителями.

Для охлаждения активных частей гидрогенератора применена замкнутая система вентиляции с охлаждением воздуха в воздухоохладителях, расположенных на корпусе статора. Для торможения ротора при останове и подъеме его при ремонтах гидрогенератор снабжен 36 тормозами-домкратами.

Температурный контроль гидрогенератора осуществляется термометрами спроводнения и термосигнализаторами, установленными в статоре, подпятнике, подшипнике и их масляных ваннах, в зонах горячего и холодного воздуха.

Регуляторный генератор — синхронный, трехфазный, с возбуждением от постоянных магнитов.

Возбуждение гидрогенератора выполняется по схеме тиристорного самовозбуждения с питанием тиристорного преобразователя от шин статора через выпрямительный трансформатор.

8.3.5. Гидрогенератор для Верхне-Териберской ГЭС

Примером современного гидрогенератора подвесного исполнения являются генераторы для Верхне-Териберской ГЭС мощностью 130 МВт, 10,5 кВ, 187,5 об/мин.

Конструктивное исполнение гидрогенератора — подвесное, с расположением подпятника на верхней крестовине и с двумя направляющими подшипниками в центральных частях верхней и нижней крестовин.

Статор гидрогенератора для удобства транспортировки выполнен из четырех секторов. Сердечник статора набран из сегментов, штампованных из холоднокатаной электротехнической стали и покрытых с обеих сторон изоляционным лаком.

Обмотка статора — стержневая, волновая, двухслойная. Корпусная изоляция стержней обмотки и перемычек — типа слюдо-терм по нагревостойкости не ниже класса F.

Ротор гидрогенератора состоит из сварного остова с отъемными спицами, насаженного на вал, обода, набираемого из штампованных сегментов, полюсов с обмоткой

возбуждения и демпферной обмоткой, токоподвода от обмотки возбуждения до контактных колец. На гидрогенераторе осуществлена конструкция разъемного ротора, позволяющая производить демонтаж остова ротора при остающемся на тормозах-домкратах ободе ротора с полюсами.

Верхняя и нижняя крестовины — литейного типа с цельносварной центральной частью и отъемными лапами. В центральной части крестовин размещены направляющие подшипники с масляными ваннами и маслоохладителями.

Подшипники сегментные, в радиальном направлении сегменты опираются на сферическую поверхность винтовых регулируемых опор. Подпятник — с самоустанавливающимися сегментами на винтовых регулируемых опорах, с регулируемым эксцентриситетом, рассчитан на нагрузку 10,5 МН. Сегменты подпятника и подшипников облицованы баббитом. Подпятник расположен в масляной ванне и охлаждается встроенными трубчатыми маслоохладителями, имеется устройство для принудительной подачи масла под высоким давлением на плоскости трения сегментов, которое автоматически включается при пуске и останове агрегата.

Для охлаждения активных частей гидрогенератора применена замкнутая система вентиляции с охлаждением воздуха в воздухоохладителях, расположенных на корпусе статора.

Для торможения ротора при останове и подъеме его при ремонтных работах гидрогенератор снабжен тормозами — домкратами.

Гидрогенератор оснащен системами вододоснабжения, пожаротушения, теплового контроля, защиты подпятника и подшипников.

Регуляторный генератор — синхронный, трехфазного тока с возбуждением от постоянных магнитов, предназначен для питания электрогидравлического регулятора частоты вращения гидроагрегата.

Система возбуждения гидрогенератора — тиристорная по схеме самовозбуждения.

8.3.6. Гидрогенератор для ГЭС Пурнари

Гидрогенератор для ГЭС Пурнари (Греция) мощностью 100 МВт, 15,75 кВ, 150 об/мин, имеет зонтичное исполнение с расположением подпятника на нижней грузонесущей крестовине с двумя направляющими подшипниками. Для удобства транс-

портирования статор генератора выполнен из четырех частей. Сердечник статора набирается из штампованных сегментов холоднокатаной электротехнической стали, покрытых лаком. Обмотка статора — стержневая, волновая, двухслойная. Корпусная изоляция обмотки статора выполнена на терморезистивных связующих, класс нагревостойкости изоляции F.

Ротор гидрогенератора состоит из сварного спицевого остова, обода, набираемого из штампованных сегментов, полюсов с обмоткой, надставки вала с втулкой верхнего направляющего подшипника. К нижнему фланцу остова ротора присоединяется вал турбины.

Верхняя и нижняя крестовина выполнены с цельносварными центральными частями и объемными лапами. В центральную часть нижней крестовины встроены подпятник, направляющий подшипник и маслоохладители. Подпятник рассчитан на нагрузку 9 МН, имеет 16 самоустанавливающихся сегментов, которые опираются через эластичные тарельчатые опоры на регулируемые болты, установленные в корпусе подпятника.

Сегменты подпятника и подшипников имеют баббитовое покрытие. Во время пусков и остановов агрегата на плоскости трения принудительно подается масло под давлением.

Гидрогенератор имеет воздушную замкнутую систему вентиляции, воздух охлаждается в газоохладителях, расположенных на корпусе статора.

Торможение агрегата производится с помощью механических тормозов, установленных на лапах нижней крестовины, тормоза используются также для подъема ротора при ремонтных работах.

Генератор снабжен системой температурного контроля. Температура определяется с помощью термометров сопротивления. В статоре, подпятнике, подшипниках, масляных ваннах, в зонах горячего и холодного воздуха установлены термосигнализаторы.

8.3.7. Генераторы-двигатели для ГАЭС

В настоящее время номинальная мощность изготовленных гидрогенераторов-двигателей находится в пределах 200–400 МВ·А при номинальных частотах вращения 150–400 об/мин. В разных странах ведутся разработки более мощных гидрогенераторов-двигателей на большие частоты вращения.

Угонная частота вращения гидрогенераторов-двигателей, как правило, находится в пределах 1,45–1,7 номинальной частоты вращения.

Коэффициент мощности в генераторном режиме для большинства мощных генераторов-двигателей составляет 0,85–0,95. В двигательном режиме $\cos \varphi$ выбирается из условия потребления реактивной мощности при наивысшем значении напряжения в точке присоединения к сети. Для большинства выполненных машин он находится в пределах $\cos \varphi = 0,95 \div 1,0$.

Напряжение статора генераторов-двигателей существенно влияет на стоимость машины.

Во многих машинах напряжение статора равно 15,75–16,5 кВ, а в ряде случаев 18–20 кВ и выше. Выбор повышенного напряжения характерен для генераторов-двигателей, установленных на подземных ГАЭС, в связи со стремлением снизить размеры шинопроводов от генератора до повышающего трансформатора, протяженность которых относительно велика.

Пределы изменения напряжения в обратимых гидрогенераторах, как правило, допускаются большими, чем в генераторах обычного типа, и составляют $\pm(10 \div 15)\%$.

Момент инерции гидрогенераторов-двигателей, как правило, значительно меньше, чем гидрогенераторов обычного исполнения. Это связано с меньшей угонной частотой вращения насосотурбин, а также со стремлением уменьшить диаметр ротора для снижения пусковой мощности и времени пуска в насосном режиме. Снижение момента инерции ротора особенно важно для агрегатов с асинхронным пуском в насосном режиме.

Для гидрогенераторов-двигателей является характерным снижение индуктивного сопротивления по продольной оси x_d .

По требованиям статической перегрузаемости значение x_d не должно быть более 1,2 о.е.

Требование к переходному реактивному сопротивлению x'_d определяется, с одной стороны, стремлением повысить динамическую устойчивость агрегата, с другой стороны — ограничением пусковых токов при применении прямого асинхронного пуска в режиме двигателя. Как правило, значение x'_d не должно быть более 0,5–0,6 о.е.

Величина ОКЗ для гидрогенераторов-двигателей с частотой вращения до 300 об/мин находится в пределах 1,1–1,0. В мощных высокоскоростных машинах ОКЗ выбирается меньше единицы — 0,8–1,0.

Между стержнями и на дне паза предусмотрены прокладки из формообразующего материала.

Для уменьшения пускового тока обмотка статора имеет увеличенное число витков и специально заглубленный паз. Для увеличения пазового рассеяния под клиньями в пазу установлены магнитные вставки, представляющие собой склеенные пакеты пластин электротехнической стали.

Конструкция сердечника статора — бесстыковая с шихтовкой статора в кольцо на месте установки.

Подпятник — однорядный сегментный на гидравлических опорах с автоматическим выравниванием нагрузки между сегментами, с нулевым эксцентриситетом. Поверхность трения сегментов покрыта фторопластом.

Система охлаждения — воздушная, замкнутая с самовентиляцией. Для обеспечения одинакового расхода воздуха в генераторном и двигательном режимах все напорные элементы имеют симметричные радиальные каналы.

Основные технические данные генератора-двигателя

Мощность в генераторном режиме, МВ·А/МВт	236/200
Мощность в двигательном режиме, МВ·А/МВт	236/220
Частота вращения номинальная, об/мин	150
Коэффициент угона	1,6
Напряжение, кВ	15,75
Момент инерции ротора, 10 ³ кг·м ²	8000
Номинальный ток возбуждения, А	1680
Напряжение возбуждения, В	240
Индуктивное сопротивление по продольной оси	1,37
Статическая перегружаемость	2,0
Внутренний диаметр статора, мм	9350
Активная длина, мм	2450
Диаметр корпуса, мм	12 000
Общая высота, мм	7870
Высота над уровнем перекрытия, мм	1740
Осевая нагрузка на подпятник, МН	14,3
Система возбуждения генератора-двигателя	Тиристорная по схеме самовозбуждения

Машины Загорской ГАЭС являются унифицированными для ряда ГАЭС (наприм., Кайшядорской ГАЭС).

8.3.8. Особенности конструкции и технические данные капсульных гидрогенераторов

Капсульные гидрогенераторы представляют собой малогабаритные герметизированные синхронные явнополусные генераторы с горизонтальным расположением вала. Капсульные гидрогенераторы изготавливают как часть единого гидроагрегата, при этом корпус статора генератора является одновременно частью капсулы гидроагрегата.

Капсульное исполнение гидроагрегата дает возможность увеличить пропускную способность турбины и единичную мощность при заданном напоре. Так как капсульные гидроагрегаты встраиваются непосредственно в водосливную плотину, при строительстве ГЭС существенно уменьшается общий объем бетонных работ. Одновременно из-за относительно небольших размеров капсульных генераторов они характеризуются более низкой статической и динамической стойкостью, затруднены их монтаж, эксплуатация и ремонт.

Мощность капсульных генераторов находится в пределах от 1,0 до 50 МВт. Ведутся разработки генераторов мощностью около 60 МВт.

Капсульные гидрогенераторы характеризуются высокими значениями коэффициента мощности. В соответствии с ГОСТ 17525-81 номинальный коэффициент мощности для генераторов мощностью до 20 МВ·А может составить 0,95. Для машин большей мощности допускается значение $\cos \varphi = 0,98$.

Коэффициент полезного действия капсульных гидрогенераторов несколько ниже КПД машин обычного исполнения. По ГОСТ 17525-81 при мощности до 10 МВ·А КПД должен быть не ниже 95%, при большей мощности — не ниже 96%.

Так как диаметр капсульных гидрогенераторов значительно меньше диаметра гидрогенераторов обычного исполнения с теми же номинальными данными, моменты инерции их роторов существенно ниже.

Капсульные гидрогенераторы характеризуются небольшими величинами полюсных делений (20—30 см), что обуславливает повышенное рассеяние полюсов (коэффициент рассеяния 1,5—1,6), индукций в сердечниках полюсов (1,3—1,4 Т) и вызывает трудности с размещением катушек обмотки возбуждения. Поэтому капсульные гидрогенераторы, как правило, выполняются с уменьшенным воздушным зазором (5—8 мм).

Особенности капсульных генераторов и высокое использование их активного объе-

ма обуславливают повышенные значения индуктивных сопротивлений. В соответствии с ГОСТ 17525-81 статическая перегружаемость для машин 20 МВА и менее может быть порядка 1,5, для больших — 1,35.

Отечественные капсульные гидрогенераторы выполняются как с водяным, так и с воздушным охлаждением.

В пп. 8.3.9, 8.3.10 приведено техническое описание некоторых капсульных гидрогенераторов.

8.3.9. Капсульный гидрогенератор для ГЭС Джердап II-Железные ворота II

Капсульный гидрогенератор типа СГКВ 776/125-96 для ГЭС Джердап II-Железные ворота II непосредственно соединяется с повортно-лопастной турбиной.

Основные технические данные генератора

Мощность, МВ · А	27,55
Коэффициент мощности	0,98
Номинальное напряжение, кВ	6,3
Частота вращения, об/мин	62,5
Ток статора, А	2530
Ток возбуждения, А	2110
Напряжение возбуждения, В	185
Синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси, о. е.	1
Динамический момент инерции, 10 ³ кг · м ²	3400
ОКЗ	1,1

Гидрогенератор размещается в напорной части водяного тракта. Статор присоединяется к промежуточным кольцам турбины, занимая центральную часть капсулы.

Вал ротора генератора соединен фланцами с валом турбины. Ротор опирается на два подшипника. Между первым генераторным подшипником и остовом ротора размещаются контактные кольца. Регуляторный генератор паходится между остовом ротора и вторым подшипником генератора.

Подпятник и контрподпятник размещаются в одной масляной ванне, которая крепится к статору турбины.

Корпус статора по условиям транспортировки выполнен из четырех частей, которые при монтаже соединяются стыковыми элементами в кольцо.

Сердечник статора набирается вперекрой из сегментов, штампованных из холоднокатаной стали толщиной 0,35 мм. Сердечник стягивается нажимными плитами, имеющими опорные пальцы из немагнитной стали. Обмотка статора — стержневая, волновая, однослойная с изоляцией на термо-

реактивных связующих, с непосредственным водяным охлаждением. Внутренняя поверхность корпуса статора имеет теплоизоляционное покрытие.

Ротор гидрогенератора состоит из вала с насаженной на него втулкой и остова барабанного типа с расположенными на нем полюсами. Остов ротора по условиям транспортировки состоит из двух частей, стыкуемых плитами и стяжными шпильками.

Полюсы крепят к ободу болтами. Капюшки полюсов состоят из полый меди и непосредственно охлаждаются водой. Сердечники полюсов шихтуются из тонколистовой стали, имеют также водяное охлаждение. Корпусная изоляция полюсов представляет собой твердоспрессованную гильзу из стеклянной ткани на термореактивном лаке. Витковая изоляция непрерывная и выполнена стеклянной лентой, пропитанной термореактивным лаком.

Подшипники генератора — стоякового типа. Подшипник состоит из самоустанавливаемых сегментов, расположенных в два ряда. Смазка подшипников и их охлаждение осуществляется устройством, расположенным вне корпуса. Для устранения проникновения паров масла и его протечек по валу используются лабиринтные уплотнения. Подшипник допускает многократные пуски и остановки при обеспечении непрерывной циркуляции масла.

Прямая и обратная нагрузки, вызываемые реакцией воды, воспринимаются подпятником и контрподпятником. Опорой подпятника является фланец вала генератора. Сегменты подпятника и контрподпятника выполнены из стали, облицованной баббитом, лежат на упругом пружинистом основании. Диск подпятника электрически изолирован от вала. Масло для смазки и охлаждения передается в ванну снизу.

Температура в элементах генератора измеряется с помощью термометров сопротивления, которые устанавливаются на входе и выходе воды из обмотки статора и ротора, в сегментах подпятника, контрподпятника и опорных подшипников. Вторичным прибором для термометров сопротивления является система теплового контроля, обеспечивающая измерения, сигнализацию и защиту. Предусмотрена система пожаротушения с автоматическим управлением.

Останов генератора производится без использования специальных тормозных устройств.

Система возбуждения — тиристорная по схеме самовозбуждения. Кратность форсирования возбуждения гидрогенератора 2,5.

8.3.10. Капсульный гидрогенератор для Даугавпилсской ГЭС

Капсульный гидрогенератор типа СГК 535/220-52 для Даугавпилсской ГЭС является составной частью капсулы гидроагрегата (рис. 8.8).

Основные технические данные генератора

Мощность, МВ · А	42,22
Коэффициент мощности	0,9
Номинальное напряжение, кВ	6,3
Частота вращения, об/мин	115,4
Ток статора, А	3870
Ток возбуждения, А	1243
Напряжение возбуждения, В	327
Синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси, о. е.	1,37
Динамический момент инерции, 10 ³ кг · м ²	1900
ОКЗ	0,8

Корпус статора одним фланцем крепят к статору турбины, другим — к фланцу промежуточного кольца. Статор турбины и промежуточное кольцо являются опорами капсулы.

Ротор генератора насаживают на вал гидроагрегата, который состоит из двух частей, соединенных между собой фланцами.

В передней части капсулы размещаются агрегат системы охлаждения, состоящий из осевого вентилятора с двигателем, а также воздухоохладители.

Корпус состоит из двух частей; части корпуса соединяют с помощью шпилек, которыми стягиваются стыковые плиты. Сердечник статора собирают из сегментов электротехнической стали толщиной 0,5 мм, шихтовка сегментов выполняется при монтаже. Нажимные пальцы сердечника выполнены из немагнитной стали. Обмотка ста-

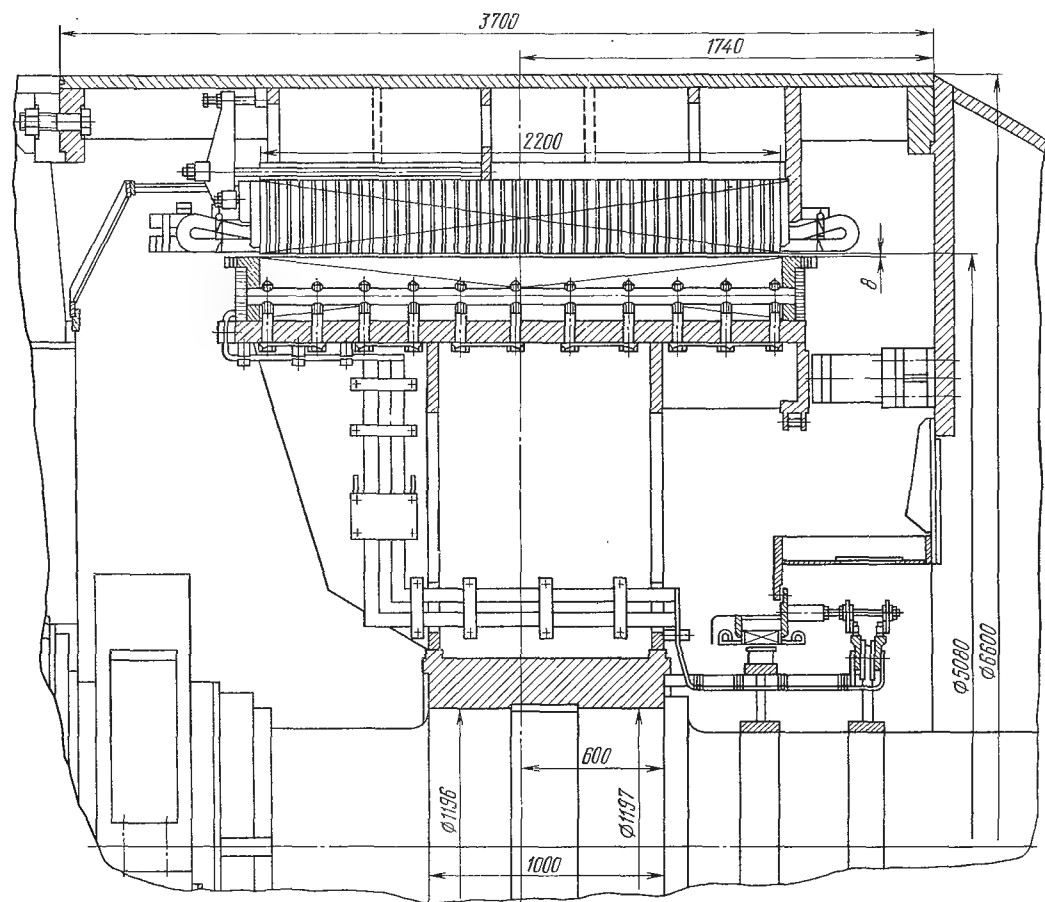


Рис. 8.8. Капсульный гидрогенератор для Даугавпилсской ГЭС

тора — двухслойная, стержневая, волновая с двумя параллельными ветвями на фазу. Изоляция обмотки — терморезистивная.

Остов ротора — барабанного типа, цельносварной, состоит из втулки дисков обода и ребер жесткости. Полюсы ротора, изготовленные из листов электротехнической стали толщиной 1 мм, стягивают массивными щеками и шпильками. Полюсы крепят к ободу с помощью болтов. Изоляцию полюсов осуществляют с помощью стеклоткани на эпоксидных связующих. Демпферная обмотка — продольно-поперечная.

Вентиляция гидрогенератора — радиальная, осуществляется по замкнутому циклу внутри капсулы при нормальном атмосферном давлении.

Генератор имеет систему торможения, выполненную в виде пневматических поршневых тормозов и трубопроводов. При подаче в тормоза воздуха при давлении 0,7 МПа агрегат тормозится от 15% номинальной частоты вращения.

Система возбуждения — статическая тиристорная параллельного самовозбуждения.

Параметры системы возбуждения

Номинальное выпрямленное напряжение, В	370
Номинальный выпрямленный ток, А	1600
Кратность форсировки по напряжению	2,5
Кратность форсировки по току	2

8.3.11. Системы возбуждения гидрогенераторов

В настоящее время наиболее широкое распространение получили системы возбуждения с тиристорными преобразователями. При этом используются системы как независимого возбуждения, так и самовозбуждения. И в тех и в других системах применяются трехфазные мостовые схемы выпрямления. Схемы преобразования могут быть однокомплектными и двухкомплектными. В двухкомплектных схемах один выпрямитель включается на полное напряжение источника питания, а второй — на отпайки его обмотки. При этом выпрямители работают с различными углами управления. В нормальных режимах ток возбуждения идет главным образом через рабочий комплект вентилях, в режимах форсирования — через форсировочный комплект вентилях. На стороне постоянного тока оба выпрямителя соединяются параллельно. Схема с одним комплектом вентилях применяется при кратко-

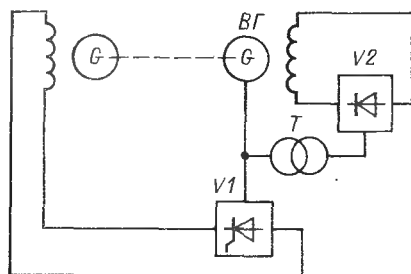


Рис. 8.9. Схема независимого возбуждения

сти форсирования $k \leq 2,5$, а схема с двумя комплектами вентилях — при $k = 3 \div 4$.

При независимом возбуждении (рис. 8.9) в качестве источника питания используется вспомогательный генератор ВГ, который устанавливается в зоне между ротором генератора и верхней крестовиной. Благодаря достаточно большому диаметру ВГ увеличение высоты генератора не требуется. Вспомогательный генератор представляет собой обычную явнополюсную синхронную машину, рассчитанную для работы на выпрямительную нагрузку. Обмотка статора ВГ при двухмостовой схеме выпрямителя выполнена с отпайками: рабочий мост подключен к отпайкам, форсировочный мост — на полное фазное напряжение. Отдельные части обмотки могут выполняться с различным числом параллельных ветвей — большим в более нагруженной рабочей части и меньшим в остальной части обмотки.

Обмотка возбуждения гидрогенератора получает питание от тиристорного выпрямителя V1. Возбуждение вспомогательного синхронного генератора ВГ осуществляется тиристорным выпрямителем V2, получающим питание от выводов ВГ через трансформатор Т. В некоторых генераторах применяются также системы самовозбуждения с последовательно включенными вольдобавочными трансформаторами.

Гашение поля в нормальных эксплуатационных режимах осуществляется инвертированием, а в аварийных режимах — автоматом гашения.

Системы возбуждения должны обеспечивать в продолжительном режиме работы ток и напряжение гидрогенераторов, превышающие номинальные значения не менее чем на 10%. Кратности форсирования напряжения и тока возбуждения должны быть не менее 2, а скорость нарастания напряжения возбуждения при заданном снижении напряжения на входе автоматического регулятора возбуждения (АРВ) и при внезапных коротких замы-

каниях в сети — не менее двух относительных единиц в секунду.

Для гидрогенераторов мощностью 100 МВт и более рекомендуется применять быстродействующие системы возбуждения, обеспечивающие нарастание напряжения от номинального до 95 % предельного значения за время не более 0,08 с. Предельное напряжение возбуждения должно достигаться при снижении напряжения на входе АРВ на 5 % при кратности форсирования до 3 и на 7,5 % при большей кратности форсирования.

Для систем параллельного самовозбуждения без последовательных вольтдобавочных трансформаторов требования по кратности форсирования и быстродействию должны выполняться при следующих условиях: 1) напряжение прямой последовательности на выводах генератора при любом коротком замыкании должно быть больше 0,8 номинального; 2) напряжение прямой последовательности должно быть меньше 0,8 номинального при длительности короткого замыкания не более 0,18 с для сети напряжением 110 кВ и выше и не более 0,3 с для сети 35 кВ и ниже, причем после отключения короткого замыкания напряжение должно превышать 0,8 номинального. Если второе из этих условий не выполняется, то допускается снижение кратности форсирования до значения, равного произведению напряжения прямой последовательности в относительных единицах на коэффициент 2,5. Требования к скорости нарастания напряжения возбуждения в этом случае не предъявляются. Для удовлетворения указанным требованиям система параллельного самовозбуждения должна выполняться с кратностью форсирования 2,5 вместо 2 при номинальном напряжении питания.

Полупроводниковая система возбуждения должна обладать внутренним резервированием. Если число параллельных ветвей или число фаз не более трех, то при выходе из строя одной ветви или фазы должна обеспечиваться работа с номинальной нагрузкой при номинальном напряжении и запасе по статической устойчивости 20 % (без учета АРВ). При этом ток возбуждения не должен быть менее тока холостого хода.

Если число параллельных ветвей или фаз равно четырем и более, то выход из строя одной ветви или фазы не должен приводить ни к каким ограничениям, включая форсирование возбуждения. При выходе из строя двух параллельных ветвей или фаз осуществляется автоматическое ограничение или запрещение форсирования и обеспечиваются рассмотренные выше режимы при

числе параллельных ветвей или фаз не более трех.

В отечественной практике системы возбуждения рассчитываются на двукратный номинальный ток возбуждения в течение не менее 50 с для гидрогенераторов с косвенной системой охлаждения и не менее 20 с для гидрогенераторов с непосредственным водяным и форсированным воздушным охлаждением.

Гашение поля гидрогенератора может осуществляться включением обмотки возбуждения на разрядное устройство, переводом преобразователя в инверторный режим. Возможно также гашение поля гидрогенератора посредством гашения поля возбудителя или сочетанием обоих способов.

8.3.12. Режимы работы гидрогенераторов

Изменение напряжения. Обычно гидрогенераторы рассчитывают так, чтобы при изменении действующего значения напряжения на выводах обмотки статора в пределах $\pm 5\%$ номинального они развивали номинальную мощность при номинальном коэффициенте мощности. При 105 % напряжения ток статора должен быть понижен до 95 % номинального, а при 95 % напряжения он может быть повышен до 105 %. При снижении напряжения ниже 95 % номинального увеличение тока свыше 105 % обычно не допускается даже в том случае, когда температура обмотки статора остается в допустимых пределах. Это объясняется тем, что перепад температуры в изоляции от потерь в меди возрастает пропорционально квадрату тока, а чрезмерное увеличение перепада температуры приводит к значительным относительным перемещениям слоев изоляции, к необратимым деформациям в ней и в результате — к снижению срока службы изоляции.

Гидрогенераторы допускают также продолжительную работу при повышении напряжения до 110 %. Однако ввиду увеличения потерь в стали и вызываемых ими местных нагревов, а также роста тока и нагрева обмотки возбуждения сохранить при этом номинальную мощность не удастся. Обычно при повышении напряжения свыше 105 % номинального полная мощность снижается примерно на 2 % с каждым процентом повышения напряжения. Работа при напряжении свыше 110 % номинального не допускается.

Изменения температуры воды и воздуха. Работа гидрогенератора с температурой охлаждающего воздуха свыше 35 °С при замк-

нутом цикле вентиляции и свыше 40°C при разомкнутом не предусматривается, за исключением режимов сушки. Воздухоохладители обеспечивают номинальную нагрузку гидрогенераторов и возбuditелей при температуре поступающей в воздухоохладители и теплообменники воды не выше 28°C .

В отдельных случаях, при установке в районах с жарким тропическим климатом, гидрогенераторы рассчитывают для условий работы при более высокой температуре входящего охлаждающего воздуха, которая превышает температуру поступающей в воздухоохладители воды обычно на $7-10^{\circ}\text{C}$.

В зимнее время снижение температуры охлаждающей воды позволяет уменьшить температуру воздуха, что в свою очередь дает возможность в известных пределах повысить мощность гидрогенератора, сохранив температуру его обмотки статора неизменной.

Однако увеличение мощности ограничивается и в этом случае перепадом температуры в изоляции.

При понижении температуры охлаждающего воздуха с 35 до 30°C допустимо увеличение мощности гидрогенератора на $0,75\%$ на каждый градус повышения температуры. При понижении температуры охлаждающего воздуха с 30 до 25°C мощность может быть увеличена на $0,25\%$ на каждый градус понижения температуры воздуха. При понижении температуры охлаждающего воздуха ниже 25°C дальнейшее повышение нагрузки не допускается.

Работа гидрогенератора при температуре охлаждающего воздуха ниже $+15^{\circ}\text{C}$ не рекомендуется, а ниже $+10^{\circ}\text{C}$ не допускается, так как при этом возможно нарушение изоляции обмотки статора. В зимнее время не следует также переохлаждать воздухоохладители во избежание конденсации на них влаги (отпотевания). Обычно осуществляется сезонное регулирование расхода охлаждающей воды через воздухоохладители.

Изменения частоты. При изменении частоты в пределах $\pm 2,5\%$ номинальной ($48,75-51,25$ Гц) гидрогенератор сохраняет номинальную мощность. Однако при уменьшении частоты относительно номинальной повышение напряжения гидрогенератора сверх номинального не допускается. Это обусловлено тем, что при снижении частоты для поддержания постоянного напряжения приходится увеличивать магнитный поток, а также ток ротора. При одновременном повышении напряжения местные нагревы сердечника и обмотки статора, а также тем-

пература обмотки ротора могут превысить допустимые пределы.

В отдельных случаях могут иметь место также ограничения при работе гидрогенератора с повышенной против номинальной частотой и с большим напряжением. При повышении частоты увеличиваются добавочные потери в меди обмотки статора и на поверхности полных законечников, а потери в сердечнике статора изменяются незначительно. В результате нагрев обмотки статора не выходит из допустимых пределов. При повышении напряжения из-за роста потерь в стали статора в напряженных в тепловом отношении гидрогенераторах может иметь место возрастание температуры обмотки статора выше допустимой. По этой причине для отдельных типов гидрогенераторов не допускается работа при повышенной частоте и увеличенном напряжении по сравнению с номинальным.

Допустимые перегрузки по току статора и ротора. Условия нагрева обмоток при кратковременных перегрузках близки к условиям адиабатического процесса, так как количество тепла, успевающего за короткий промежуток времени рассеяться во внешнюю среду, незначительно. Во избежание нарушений изоляции, вызванных тепловыми деформациями при удлинении обмотки из-за ее нагрева, обычно ограничивают кратковременное повышение температуры обмотки 15°C .

Обмотки с непосредственным водяным охлаждением обладают большей перегрузочной способностью по сравнению с обмотками с косвенным воздушным охлаждением при малых кратностях перегрузок, но из-за высокой номинальной плотности тока допускают меньшую длительность перегрузок большой кратности. Допустимые длительности перегрузок обмоток гидрогенераторов приведены в табл. 8.9.

Таблица 8.9. Допустимые длительности перегрузок обмоток по току, мин

Кратность перегрузки	Обмотка статора		Обмотка возбуждения	
	Воздушное охлаждение	Водяное охлаждение	Воздушное охлаждение	Водяное или форсированное воздушное охлаждение
2,0	50 с	20 с	50 с	20 с
1,5	2	1	2	50 с
1,4	3	1,25	3	1
1,3	4	2,5	4	1,5
1,25	5	4	5	2
1,2	6	6	6	2,75
1,15	15	15	10,5	4
1,1	60	Длительно		

Несимметричная нагрузка. При несимметричных нагрузках генератора появляются обратные вращающиеся магнитные поля первой и высших гармоник, которые вызывают дополнительные потери в демпферной обмотке, на поверхности полюсных башмаков и в обмотке возбуждения. Чрезмерные нагревы мест соединений короткозамыкающих сегментов демпферной обмотки токами обратной последовательности могут привести к ее разрушению. Несимметричные нагрузки вызывают также пульсации момента с основной частотой 100 Гц, в результате чего возникают вибрации статора и ротора, которые при длительном воздействии могут привести к разрушению крепления сердечника статора и межполюсных соединений ротора. По этим причинам несимметричная нагрузка ограничивается токами обратной последовательности и должны приниматься меры для снижения продолжительности несимметричной нагрузки.

В зависимости от системы охлаждения, мощности гидрогенератора, наличия демпферной системы допускается работа при следующих разностях токов по фазам, %:

Гидрогенераторы с косвенным воздушным охлаждением и мощностью 125 МВ·А и выше	15
То же мощностью менее 125 МВ·А	20
Гидрогенераторы с непосредственным жидкостным охлаждением	10
Гидрогенераторы без демпферной системы	10

Наибольший ток при несимметричной нагрузке ни в одной из фаз не должен превышать номинального.

Снижение допустимой разности токов в фазах для крупных гидрогенераторов обусловлено более высоким уровнем электромагнитных, тепловых и механических нагрузок и, следовательно, большей напряженностью конструкций машин. Еще большим использованием характеризуются гидрогенераторы с применением форсированных систем охлаждения, и в частности непосредственного водяного, что приводит к необходимости снижать допустимую разность токов в фазах до 10%.

Несимметричные короткие замыкания. Гидрогенераторы могут выдержать лишь кратковременные несимметричные короткие замыкания, так как токи обратной последовательности, достигающие больших значений, могут привести к выходу из строя генератора из-за возможных повреждений ротора от местных нагревов и вибраций.

В практике принято определять допусти-

мую длительность несимметричных коротких замыканий исходя из термической стойкости демпферной системы.

Гидрогенераторы допускают кратковременные несимметричные короткие замыкания при условии, что произведение квадрата среднего тока обратной последовательности I_2 (в долях номинального тока статора) на время продолжительности короткого замыкания t_k в секундах не превосходит определенного значения:

$$I_2^2 t_k \leq C.$$

Обычно для гидрогенераторов с косвенным воздушным охлаждением $C = 40$, для гидрогенераторов с форсированным охлаждением $C = 20 \div 30$.

Работа с заземленной фазой. Если в одной из фаз гидрогенератора или сети, подключенной непосредственно к его выводам, имеют место замыкания на землю, то такой режим является аварийным. Напряжения незаземленных фаз в этом случае возрастают и могут достигать полных линейных напряжений, что ведет к соответствующему увеличению градиента напряжения в изоляции обмотки статора и тем самым повышает вероятность ее повреждения. Наличие же двух мест замыканий на землю в обмотке статора чревато опасностью пожара в генераторе с выгоранием стали сердечника статора и необходимостью проведения в последующем большого объема восстановительных ремонтных работ.

По этой причине работа гидрогенератора с заземлением одной из фаз не допускается, при появлении «земли» генератор должен быть аварийно отключен от сети и развозбужден.

Асинхронный режим. Асинхронный режим гидрогенератора может наступить в результате потери возбуждения, неудачной самосинхронизации, несвоевременного отключения участка сети с коротким замыканием, сброса большой нагрузки при сохранении электрической связи с системой и т. п.

В асинхронном режиме имеют место большие пульсации тока и напряжения, вызывающие вибрации гидрогенератора и значительные механические усилия в отдельных узлах. Кроме того, в обмотке возбуждения генератора, вращающегося асинхронно, наводится значительная ЭДС, которая при размыкании цепи возбуждения может привести к пробое изоляции ротора. Поэтому асинхронный режим не допускается сколь угодно длительное время и при выпадении из синхронизма машина должна быть аварийно отключена от сети.

Допустимые вибрации и шумы. При работе гидрогенераторов имеют место вибрации различных узлов и их элементов, обусловленные воздействием переменных аэродинамических, электромагнитных и механических нагрузок.

Допустимая вибрация (удвоенная амплитуда колебаний) в горизонтальной плоскости крестовины гидрогенератора со встроенным в нее направляющим подшипником при вертикальном исполнении или вибрация подшипников при горизонтальном исполнении гидрогенератора во всех режимах работы при номинальной частоте вращения устанавливается следующей:

Номинальная частота вращения, об/мин	Допустимая вибрация, мм, не более
До 187,5	0,18
187,5—375	0,12
375—750	0,10

В вертикальном направлении гидрогенератор должен выдерживать вибрации турбины не более указанных выше.

Допустимая вибрация сердечника статора с частотой колебаний, равной удвоенной частоте перемагничивания, не должна превышать 30 мкм. Более высокие вибрации частоты (100 Гц) и рост их с током нагрузки свидетельствуют, как правило, о неудачно выбранном чередовании катушечных групп обмотки статора. В этих случаях оказывается целесообразным изменение электрической схемы обмотки статора. Максимальная интенсивность шума, измеренного на расстоянии 1 м от гидрогенератора, работающего в режиме холостого хода, не должна превышать 85 дБ.

8.4. Синхронные явнополюсные генераторы для автономных энергетических систем

8.4.1. Особенности генераторов автономных систем

По основным техническим параметрам, номинальной мощности и частоте вращения синхронные генераторы для автономных систем не имеют специальной классификации. В настоящее время верхний предел их мощности составляет 6300 кВт.

Преимущество в развитии получили генераторы с частотой вращения 1500, 1000, 750 об/мин, однако выпускаются и генераторы с частотой вращения 500 и 375 об/мин. По частоте тока кроме генераторов на 50

и 60 Гц имеются генераторы нестандартной частоты, генераторы 400 Гц и высокочастотные генераторы до 10000 Гц.

По области применения синхронные генераторы подразделяются на стационарные, передвижные, транспортные и тяговые.

Передвижные генераторы могут размещаться в железнодорожном вагоне, автофургоне, прицепе, контейнере и т. п. Однако в отличие от транспортных и тяговых генераторов эти генераторы могут работать только при неподвижном состоянии указанных устройств.

Большинство синхронных генераторов являются дизельными. Однако приводом может быть и газовая турбина, и электродвигатель.

Как правило, каждый генератор проектируется под конкретный тип приводного двигателя. При этом устанавливаются требования к большинству параметров и характеристик.

Современные синхронные генераторы автономных энергетических систем выполняются с бесщеточными системами возбуждения.

8.4.2. Синхронный генератор типа СГ 2-85/45-12

Генератор предназначен для продолжительной работы в стационарных установках во взрывоопасной среде с приводом от дизеля, паровой или газовой турбины или от электродвигателя.

Технические данные генератора СГ2-85/45-12УХЛ4

Мощность, кВт · А	394
Напряжение, В	400
Частота вращения, об/мин	500
Ток статора, А	361
Коэффициент мощности	0,8
КПД, %	92,5
Масса, кг	3430

Возбуждение генератора — от тиристорного возбудительного устройства с питанием от дополнительной обмотки, расположенной на статоре генератора. Напряжение возбуждения 36 В, ток возбуждения 147 А. Испытание генератора — по степени защиты IP23, способ охлаждения — ICA01, форма исполнения — IM1001.

Соединение обмотки статора — звезда с выведенной нулевой точкой. Изоляция обмоток статора и ротора — класса В типа «монолит-2».

Генератор изготовляют в соответствии с ТУ 16-512.374-75.

8.4.3. Синхронный генератор типа СГД103-8

Генератор предназначен для работы в стационарных установках в закрытых помещениях во взрывоопасной среде с дизельным приводом.

Основные технические данные генератора СГД103-8УЗ

Мощность, кВт·А	125
Напряжение, В	400 или 230
Частота вращения, об/мин	750
Частота тока, Гц	50
Коэффициент мощности	0,8
Ток статора, А	180 (при $U = 230В - 314А$)
КПД, %	91
Масса, кг	1215

Возбуждение — от возбудителя типа В18-2УЗ, смонтированного сверху на корпусе генератора и сочлененного с валом клиноремненной передачи.

Основные технические данные возбудителя

Мощность, кВт	4,5
Напряжение, В	30
Частота вращения, об/мин	1800
Ток, А	150
Тип регулятора возбудителя	РЗВ-31БУ4

Обмотка статора генератора соединена в звезду с выведенной нулевой точкой. Изоляция обмотки — не ниже класса В для статора и класса F для ротора. Вентиляция — вытяжная аксиальная.

Допустимый уровень звука генератора с возбудителем — не более 95 дБ.

Допускается перегрузка 10% номинальной мощности в течение 1 ч при работе с коэффициентом мощности 0,8 (отстающим).

Номинальное изменение напряжения 30%. Допускается параллельная работа с другими генераторами. Генератор выпускается в соответствии с ТУ 16-512.331-73.

Генератор подлежит к снятию с производства. В новых установках его применять не рекомендуется.

8.4.4. Синхронные генераторы типа СГД 625-1500 и СГД 625-1500М

Генераторы предназначены для работы в составе стационарных дизель-электрических агрегатов. Исполнение генераторов — защищенное, форма исполнения — ИМ1003.

Способ вентиляции — ИСА01. Возбуждение — электромашинное от пристроенных возбудителей типа П71-2М. Частота вращения 1500 об/мин. Частота тока 50 Гц; коэффициент мощности 0,8.

Технические данные генераторов

СГД 625-1500МУЗ	
Мощность, кВт	500
Напряжение, В	400
КПД, %	93,5
Масса, кг	3400
СГД 625-1500УЗ	
Мощность, кВт	500
Напряжение, В	6300
КПД, %	93
Масса, кг	4000

8.4.5. Синхронные генераторы серии СГД2 и СГД2М 17-го габарита

Синхронные генераторы СГД2 (модернизированные — СГД2М) предназначены для эксплуатации на стационарных электростанциях с приводом от двигателей внутреннего сгорания. В комплект установки входят генератор (табл. 8.10) и возбудительное устройство — статический выпрямитель. Конструктивное исполнение генератора — ИМ7115 с одним стоячковым подшипником скольжения; исполнение по способу защиты генератора — IP11, коробки выводов — IP21, возбудительного устройства — IP00. Способ охлаждения — ИСА01.

Генераторы имеют 16 полюсов (синхронная частота вращения 375 об/мин) и рассчитаны на работу с $\cos \varphi = 0,8$. Схема соединения обмотки статора — звезда с шестью выводами у генераторов на номинальное напряжение 6300 В и четырьмя выводами у генераторов на номинальное напряжение 400 В. Класс нагревостойкости изоляции В. В обозначении генераторов после названия серии (СГД2, СГД2М) указывается условный габарит (17), длина сердечника, см, число полюсов (16) и климатическое исполнение (УХЛ4); буквы УВ, стоящие в обозначении после числа полюсов, указывают, что генератор выполнен с усиленным концом вала.

Соединение с валом приводного двигателя — жесткое с помощью фланца.

Начальное возбуждение — без использования постороннего источника тока.

Генераторы выполняются в соответствии с ТУ 16-512.317-81.

Таблица 8.10. Технические данные синхронных генераторов серии СГД2 и СГД2М 17-го габарита

Типоразмер генератора	Мощность, кВт	Напряжение обмотки статора, В	Ток статора, А	Напряжение возбуждения, В	Ток возбуждения, А	ОКЗ	КПД, %	Момент инерции ротора, кг·м ²
СГД2-17-36-16УХЛ4 СГД2-17-36-16УВ-УХЛ4	630	400	1140	47	205	0,84	93,8	424
СГД2-17-44-16УХЛ4	800	400	1443	57	235	0,88	94,1	512
СГД2-17-44-16-О4 СГД2-17-44-16УВ-О4	630	400	1140	50	186	1,14	94,4	512
СГД2-17-36-16УХЛ4 СГД2-17-36-16УВ-УХЛ4 СГД2М-17-36-16УХЛ4 СГД2М-17-36-16УВ-УХЛ4	630	6300	72	58	225	0,84	93,7	400
СГД2-17-44-16УХЛ4 СГД2М-17-44-16УХЛ4	800	6300	92	64	245	0,89	93,8	487
СГД2-17-44-16-О4 СГД2-17-44-16УВ-О4 СГД2М-17-44-16-О4 СГД2М-17-44-16УВ-О4	630	6300	72	56	205	1,11	94	487
СГД2-17-50-16-О4 СГД2М-17-50-16-О4	800	6300	92	64	219	1,27	94,5	549

8.4.6. Синхронный генератор типа БГСП 17-61-8

Синхронный генератор типа БГСП 17-61-8 с бесщеточной системой возбуждения предназначен для комплектации мощных дизельных станций, размещенных в железнодорожном вагоне.

Основные технические данные генератора

Мощность, кВт·А	2500
Напряжение, В	6300
Частота, Гц	50
Частота вращения, об/мин	750
Коэффициент мощности	0,8
КПД*, %	95,7
Степень защиты по ГОСТ 17494-72	1Р43
Габаритные размеры, мм:	
длина	2000
ширина	2070
высота	1820
Удельные показатели:	
масса, кг/(кВ·А)	4,40
объем, м ³ /(кВ·А)	3,02
площадь, м ² /(кВ·А)	1,66·10 ⁻³

* С учетом потерь в системе возбуждения.

В генераторе применено воздушное охлаждение по разомкнутому циклу.

Сердечник статора запрессован в ста-

нину. Пазы статора — открытые. Обмотка — петлевая двухслойная с термореактивной изоляцией.

Ротор изготовлен с явно выраженными полюсами. Остов ротора и сердечники полюсов собраны из отдельных штампованных стальных листов. Обмотка полюсов выполнена из изолированной шинной меди, гнутой на ребро. В полюсных наконечниках расположена демпферная обмотка из круглых латуных стержней.

В генераторе применена бесщеточная система возбуждения, состоящая из синхронного возбудителя, у которого неподвижный индуктор расположен внутри вращающегося якоря, и трехфазного преобразователя. Обмотка возбуждения возбудителя питается через тиристорный преобразователь, выполненный по однофазной двухполупериодной выпрямительной схеме, от однофазной дополнительной обмотки статора. Дополнительная и основная обмотки статора имеют одно и то же число пар полюсов. При холостом ходе и в номинальном режиме генератора возбуждение возбудителя обеспечивается от напряжения основной частоты дополнительной обмотки, а в режимах коротких замыканий статора — от ЭДС высших гармоник поля, наводимых в дополнительной обмотке статора.

В генераторе используются подшипники скольжения с принудительной системой смазки, объединенной с системой смазки дизеля.

8.4.7. Синхронные генераторы серий ОС и ЕСС

Синхронные генераторы серий ОС и ЕСС, трехфазные, со статической системой возбуждения и автоматическим регулированием напряжения, предназначены для продолжительного режима работы. Они служат источниками переменного тока частотой 50 Гц и номинальным напряжением 230 и 400 В в стационарных и передвижных электроустановках. Общие технические требования к генераторам мощностью до 100 кВт изложены в ГОСТ 22407-85.

Ненагруженный генератор должен обеспечить запуск прямым включением асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью не более 70% номинальной мощности генератора и кратностью пускового тока не более 7. Соотношение мощностей параллельно работающих генераторов должно быть не более 1:3.

Коэффициент искажения синусоидальности кривой линейного напряжения при сим-

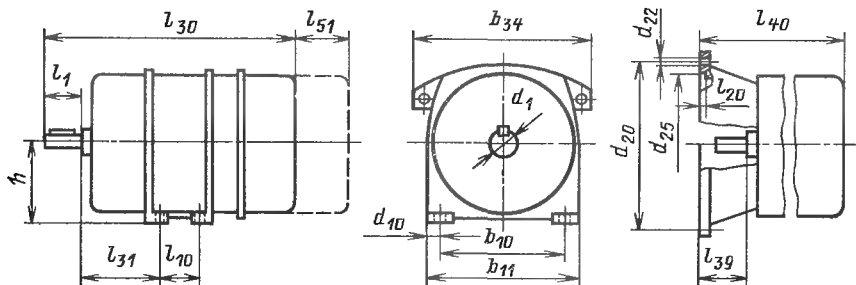
метричной нагрузке — не выше 5%. Допустимые углы наклона генератора при работе: продольный — до 15°, поперечный — до 30°. Режим работы — продолжительный. Допустимый уровень шума — по 1-му классу ГОСТ 16372-84Е. Основные технические данные генераторов серии ОС приведены в табл. 8.11, а габаритные, установочные и присоединительные размеры — в табл. 8.12.

Таблица 8.11. Технические данные генераторов серии ОС (частота вращения 1500 об/мин, частота тока 50 Гц, номинальное напряжение 230/400 В)

Типоразмер генератора	Мощность полная, кВт·А	Мощность активная, кВт	Ток, А	КПД, %
ОС-51	5	4	12,55/7,22	80
ОС-52	10	8	25,10/14,45	82
ОС-71	20	16	50,20/28,9	86,8
ОС-72	37,5	30	94,1/54,1	89
ОС-91	75	60	188,2/108,2	90,5
ОС-92	125	100	314/180	91,5

Примечание. В числителе дроби указан ток при соединении обмотки статора в треугольник ($U_{\text{ном}} = 230$ В), в знаменателе — в звезду ($U_{\text{ном}} = 400$ В).

Таблица 8.12. Габаритные и установочно-присоединительные размеры, мм, генераторов серии ОС



Типоразмер генератора	b_{10}	b_{11}	b_{34}	d_1	d_{10}	d_{20}^*	d_{22}	d_{25}	h	l_1
ОС-51	264	326	364	36	19	465	13	426	160	80
ОС-52	264	326	364	36	19	465	13	426	160	80
ОС-71	340	409	472	55	19	450	15	412	200	110
ОС-72	340	409	472	55	19	480	15	450	200	110
ОС-91	440	540	610	75	30	625	12	605	280	140
ОС-92	440	540	610	75	30	625	15	605	280	140

Продолжение табл. 8.12

Типоразмер генератора	l_{10}	l_{20}	l_{30}	l_{31}	l_{39}	l_{40}	l_{51}	Масса, кг	
								без фланца	с фланцем
ОС-51	608	7	608	191	100	—	170	104	119
ОС-52	675	7	675	191	100	677	170	138	156
ОС-71	90	6	770	233	78	770	220	228	245
ОС-72	190	6	870	233	50	870	220	309	326
ОС-91	156	6	982	304	112	982	180	545	570
ОС-92	296	6	1122	304	100	1122	180	740	766

* Генераторы ОС-70 и ОС-90 имеют несколько размеров фланцев.

Статор имеет бесстанинное исполнение. Ротор — четырехполюсный, с демпферными обмотками и контактными кольцами для питания обмоток возбуждения. Центробежный вентилятор аксиального охлаждения генератора расположен со стороны привода. Аппаратура управления, в том числе выпрямительное устройство, размещены под колпаком со стороны, противоположной приводу.

Точность поддержания напряжения генераторов $\pm 2\%$, изменение уставки напряжения — в пределах $\pm 5\%$.

Синхронные генераторы серии ЕСС

(табл. 8.13) имеют самовозбуждение через полупроводниковые выпрямители. Генераторы снабжены аппаратурой для автоматического регулирования напряжения, состоящей из блока регулирования напряжения, блока корректора и потенциометра уставки. Генераторы серии ЕСС5 выпускаются на напряжения 230, 400 и 440 В и частоты 50 Гц при частоте вращения 1000 или 1500 об/мин и 60 Гц при 1200 или 1800 об/мин. Эти генераторы не предназначены для параллельной работы, имеют четыре варианта комплектации по аппаратуре управления и возбуждения.

Таблица 8.13. Технические данные синхронных генераторов серий ЕСС и ЕСС5

Типоразмер генератора	Мощность активная, кВт	Мощность полная, кВт·А	Ток, А*	Частота вращения, об/мин	КПД, %	Точность поддержания напряжения, %	Средний ресурс до капитального ремонта, 1000 ч	Масса, кг	Высота оси вращения (габарит), мм
ECC-52-4	5	6,25	$\frac{15,7}{9,0}$	1500	80,2			125	180
ECC-62-4	12	15,0	$\frac{37,7}{21,7}$	1500	86			238	200
ECC-81-4	20	25,0	$\frac{62,8}{36,0}$	1500	87	± 2	32	349	250
ECC-82-4	30	31,5	$\frac{94,0}{54,0}$	1500	88			420	250
ECC-91-4	50	62,5	$\frac{157,0}{90,3}$	1500	90			590	315
ECC5-61-4	8	10	$\frac{25,2}{14,5}$	1500	84,7	± 5	40	160	200
ECC5-62-4	12	15	$\frac{31,5}{21,7}$	1800	85,0			189	200
ECC5-62-4	12	15	$\frac{31,5}{21,7}$	1500	85,0			189	200

Продолжение табл. 8.13

Типоразмер генератора	Мощность активная, кВт	Мощность полная, кВт·А	Ток, А*	Частота вращения, об/мин	КПД, %	Точность поддержания напряжения, %	Средний ресурс до капитального ремонта, 1000 ч	Масса, кг	Высота оси вращения (габарит), мм
ECC5-81-4	20	25	$\frac{62,8}{36}$	1500	86,0			300	250
ECC5-81-6	20	25	$\frac{62,8}{36}$	1000	86,0			300	250
ECC5-82-4	30	37,5	$\frac{—}{54}$	1800	88,2	± 5	40	340	250
ECC5-82-4	30	37,5	$\frac{94}{54}$	1500	88,2			340	250
ECC5-83-6	30	37,5	$\frac{94}{54}$	1000	88,2			360	250
ECC5-91-4	50	62,5	$\frac{157}{90}$	1500	89,3			490	315
ECC5-92-6	50	62,5	$\frac{157}{90}$	1200	89,6			540	315
ECC5-92-6	50	62,5	$\frac{157}{90}$	1000	89,6			540	315
ECC5-92-4	60	75,0	$\frac{188,5}{108}$	1500	90,5	± 5	40	540	315
ECC5-93-4	75	93,7	$\frac{—}{123}$	1800	91,0			605	315
ECC5-93-4	75	93,7	$\frac{235}{135}$	1500	91,0			605	315

* В числителе указаны значения тока при $U_{\text{ном}} = 230$ В, в знаменателе — при $U_{\text{ном}} = 400$ В.

8.4.8. Синхронные генераторы типа ГСФ

Синхронные генераторы типов ГСФ-100 и ГСФ-200 мощностью соответственно 100 и 200 кВт предназначены для работы в стационарных или передвижных дизель-электрических установках.

Генераторы имеют фланцевое исполнение, один конический конец вала и соединяются с приводом при помощи упругой пальчиковой муфты. Рассчитаны на работу в невзрывоопасной среде при температуре окружающего воздуха от -50 до 50°C в режиме S1. Допускают крен $28,5^\circ$ и дифферент до 15° . Исполнение по степени защиты от влияния окружающей среды IP21 у генераторов типа ГСФ-100М и IP23 у генераторов типа ГСФ-200. Климатическое исполнение У и Т; категория размещения 2.

Изоляция обмоток статора и ротора — влагостойкая, класса нагрывостойкости Н.

Возбуждение генераторов — от статической системы, обеспечивающей изменение тока возбуждения при изменении нагрузки. Начальное возбуждение — от аккумуляторной батареи.

Номинальная частота тока генераторов 50 Гц, номинальная частота вращения 1500 об/мин. Генераторы имеют следующие технические данные:

	ГСФ-100М	ГСФ-200
Напряжение, В	230(400)	230(400)
Мощность, кВт	100	200
Ток статора, А	314(181)	625(361)
Коэффициент мощности	0,8	0,8
КПД, %	89	92
Момент инерции ротора, кг·м ²	3,23	4
Удельная материалоемкость, кг/кВт	9	7,3

Генераторы изготавливаются в соответствии с ТУ 16-512.365-75.

8.4.9. Синхронные генераторы типа ГАБ

Синхронные генераторы типа ГАБ (табл. 8.14) входят в комплект бензоэлектрических агрегатов типа АБ, предназначенных для работы в качестве перевозных источников энергии.

Бензоагрегаты обеспечивают нормальную работу при температуре окружающего воздуха от $+50$ до -50°C (для тропического исполнения — от $+50$ до -10°C), при относительной влажности до 98 % при температуре до $+25^{\circ}\text{C}$ (для тропического исполнения — при температуре до $+50^{\circ}\text{C}$), при высоте установки над уровнем моря до 1000 м. При увеличении высоты установки до 2000 м мощность агрегатов снижается на 20 %, при увеличении высоты до 3000 м — на 30 %.

В качестве первичных двигателей в агрегатах АБ-2-М1 применен бензиновый двигатель типа УД-15Г, в агрегатах АБ-4-М1 — бензиновый двигатель типа УД-25Г, в агре-

гатах АБ-8-Т-М — двигатель типа «Москвич». Частота вращения вала генераторов 3000 об/мин.

Генераторы непосредственно сочленены с валом двигателя, имеют фланцевое исполнение. Корпус генераторов отлит из алюминиевого сплава. В верхней части корпуса находится отсек для размещения блока выпрямителей.

В пазы статора заложены две обмотки: силовая и дополнительная, которая служит для самовозбуждения генератора. Ротор генератора выполнен с двумя явно выраженными полюсами, на которых располагаются катушки обмотки возбуждения. Для обеспечения самовозбуждения генератора между катушками возбуждения размещены два постоянных магнита. Электродвижущая сила, наводимая потоком постоянных магнитов в дополнительной обмотке статора, через диоды подается на обмотку возбуждения через контактные кольца. Самовозбуждение генератора происходит при номинальной частоте вращения и отключенной нагрузке.

При любой симметричной нагрузке напряжение генераторов может быть установлено ручным регулированием в пределах

Таблица 8.14. Технические данные синхронных генераторов типов ГАБ-М и ГАБ-М1

Наименование	Типоразмер генератора							
	ГАБ-2-Т/230-М1	ГАБ-2-0/230-М1	ГАБ-4-Т/230-М1	ГАБ-4-0/230-М1	ГАБ-4-Т/400-М1	ГАБ-8-Т/400-М	ГАБ-8-Т/230-М	ГАБ-8-Т/230/Ч-400-М1
Номинальная мощность, кВт	2	2	4	4	4	8	8	8
Номинальное напряжение, В	230	230	230	230	400	400	230	230
Род тока	Трех-фазный	Одно-фазный	Трех-фазный	Одно-фазный	Трех-фазный	Трех-фазный	Трех-фазный	Трех-фазный
Ток нагрузки, А:								
при $\cos\varphi = 1$	5,0	8,7	10,0	17,4	5,8	11,5	20,0	20,0
при $\cos\varphi = 0,8$	6,3	10,9	12,6	21,8	7,2	14,5	25,0	25,0

Примечания: 1. Бензоагрегаты имеют такое же обозначение, как и генераторы, но без буквы «Г», например АБ-2-Т/230-М1.

2. Номинальная частота тока генератора типа ГАБ-8-Т/230/Ч-400-М1 400 Гц, остальных 50 Гц.

3. $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,8$

380–400 В для генераторов с $U_{\text{ном}} = 400$ В и в пределах 218–230 В для генераторов с $U_{\text{ном}} = 230$ В. При изменении нагрузки от холостого хода до номинальной во время работы с коэффициентом мощности от 0,8 до 1 напряжение генераторов автоматически поддерживается в пределах $\pm 4\%$. Разность между наибольшей и наименьшей частотами тока при изменении нагрузки от холостого хода до номинальной для генераторов на 50 Гц не превышает 2 Гц. У генератора ГАБ-8-Т/400/Ч-400-М1 разность частот при изменении нагрузки от нагрузки холостого хода до номинальной не превышает 16 Гц, а при изменении нагрузки от 50% до номинальной — 10 Гц.

Генераторы допускают перегрузку на 10% сверх номинальной мощности в течение 1 ч при температуре окружающей среды не выше 35°C и установке на высоте над уровнем моря до 500 м (для генератора ГАБ-8-Т/400/Ч-400-М1 — до 1000 м).

8.5. Синхронные компенсаторы

8.5.1. Назначение синхронных компенсаторов

Синхронные компенсаторы применяют для регулирования режимов работы энергетических систем, для поддержания оптимального уровня напряжения, снижения потерь электроэнергии в сетях, увеличения пропускной способности и обеспечения устойчивости энергосистем.

Синхронные компенсаторы представляют собой синхронные машины, работающие в режиме двигателя без активной нагрузки и генерирующие в сеть реактивный опережающий (емкостный) или отстающий (индуктивный) ток.

8.5.2. Синхронные компенсаторы с воздушным охлаждением

Синхронные компенсаторы мощностью 10, 16 и 25 МВ·А выпускаются с воздушным охлаждением. Напряжение компенсаторов мощностью до 16 МВ·А — 6,3 и 10,5 кВ, мощностью 25 МВ·А — 10,5 кВ, частота вращения 1000 об/мин. Устанавливаются компенсаторы в закрытом помещении. Исполнение компенсаторов — закрытое, с опорными стойковыми подшипниками.

Корпус компенсаторов — сварной с трубопроводом в нижней части для выхода нагретого воздуха. Сердечник статора выполнен из холоднокатаной электротехнической стали.

Обмотка статора — стержневая, с термореактивной изоляцией. Для напряжения 6,3 кВ стержни обмотки состоят из одного витка. Обмотки выполняют транспонированными по длине пазовой части. Обмотка — петлевого типа с укороченным шагом. Обмотку статора на напряжение 10,5 кВ изготавливают с двумя витками в стержне. Витки стержней в пазовой части выполнены с транспозицией элементарных проводников. Они изолированы двумя слоями стеклослюдитовой ленты толщиной 0,13 мм и одним слоем стеклянной ленты. После опрессовки и запечки стержни изолируют так же, как и стержни с одним витком.

Крепление стержней между собой в лобовых частях и к бандажным кольцам выполняют с помощью лавсанового шнура. Головки стержней после пайки припоем ПСО-15 изолируют прессованными колпачками из волокнистого материала АГ-4С и заполняют эпоксидным компаундом.

Начало и концы обмотки выведены из корпуса статора в нижней его части, шиннопроводы от выводов к распределительному устройству располагают в подвальной части фундамента.

Роторы компенсаторов мощностью 16–25 МВ·А выполняют с массивными полюсами и кованым остоном заодно с валом. Катушки ротора установлены на полюсах с зазором 10–12 мм и расклинены на них изоляционными колодками шириной 30–40 мм так, что по длине полюса образуется ряд вентиляционных камер. С внешней стороны катушки полюсов укреплены тремя-четырьмя дюралюминиевыми распорками, упирающимися в полюсные башмаки. Торцы массивных полюсов соединяют медными сегментами с посеребренной контактной поверхностью и крепят к полюсам болтами из бронзы.

С обеих сторон ротора на валу установлены осевые вентиляторы пропеллерного типа. Подвод воздуха к вентиляторам осуществляется силиконовыми диффузорами, прикрепленными к внутренним воздухоподеляющим щитам статора.

С внешней стороны компенсатор закрыт щитами сварной конструкции.

Подшипники компенсаторов — стоякового типа с циркуляционной смазкой с дополнительными смазочными кольцами. Для защиты от подшипниковых токов один из подшипников изолируют. В компенсаторах предусмотрено пожаротушение водой.

Вентиляция — двусторонняя симметричная радиальная по замкнутому или разомкнутому циклу. При замкнутом цикле воз-

дух охлаждается в двух воздухоохладителях, установленных внизу машины в подвальном помещении. При разомкнутом цикле воздух через фильтры входит в машину снизу с двух сторон через патрубки щитов, а нагретый воздух выходит через нижний раструб корпуса статора.

Для обеспечения вентиляции обмотки ротора на набегающей и сбегавшей сторонах полюсных башмаков имеются наклонные отверстия диаметром 20—25 мм, выполняющие роль заборников, через которые воздух из зазора поступает в вентиляционные камеры между катушкой и сердечником полюса. Заборники и выходные отверстия выполняют с шагом 150—160 мм и чередуют через одно отверстие. Охлаждение торцевых частей катушек осуществляют подачей воздуха через пазы для крепления полюсов и выпуск его через радиальные отверстия в полюсных башмаках (по два отверстия с обеих сторон полюсов).

Габаритные размеры синхронных компенсаторов мощностью 16 МВ·А, 6,3 кВ, 1000 об/мин

Общая длина, мм	4310
Расстояние от центра подшипника до середины машины, мм	1900
Расстояние от середины машины до другого подшипника, мм	1830
Высота центра, мм	800

8.5.3. Синхронные компенсаторы с водородным охлаждением

Синхронные компенсаторы с водородным охлаждением выпускаются мощностью 50, 100 и 160 МВ·А (табл. 8.15).

Компенсатор устанавливают на фундамент боковыми опорными лапами. Подшипники расположены на подставках внутри машины. Охлаждение циркулирующего в машине водорода производится встроенными газоохладителями, расположенными вертикально по две секции с обеих сторон машины или горизонтально под корпусом — по одной секции с каждой стороны.

В конструкции компенсатора предусмотрена возможность проведения ревизий и текущих ремонтов без разборки машины, а также выполнения монтажа без крана.

Корпус статора компенсатора мощностью 50 МВ·А, 11 кВ, 750 об/мин выполнен неразъемным. Жесткость корпуса обеспечивается кольцевыми рамами, установленными вертикально. К рамам прикреплен сердечник статора. В рамах имеются окна для прохождения охлаждающего газа.

К крайним рамам с обеих сторон корпуса примыкают кольцевые камеры для прохождения водорода в камеры газоохладителей. Верхние части камер газоохладителей, выступающие за обшивку корпуса, выполнены съемными. С обеих сторон корпуса в зоне камер газоохладителей к нижней части обшивки и торцевым фланцам приварены балки, к которым прикреплены съемные опорные плиты для установки стоек подшипников. К нижней части корпуса присоединен маслосбак со встроенным маслоохладителем.

Обмотка статора — двухслойная, стержневая петлевого типа с терморезистивной изоляцией. В верхней части корпуса расположены три линейных вывода, к которым присоединяются шинопроводы от распределительного устройства.

Ротор компенсатора выполнен с массивными коваными полюсами. Торцы полюсных башмаков соединены между собой массивными медными демпферными сегментами. Остов ротора, на который насаживаются массивные полюсы, состоит из отдельных пакетов, между которыми имеются радиальные каналы. Для снижения потерь и улучшения охлаждения на поверхности полюсных башмаков выполнено рифление.

Схема вентиляции — радиальная. Напор газа создается осевыми вентиляторами, установленными на роторе, и полюсами. Водород проходит по радиальным каналам между пакетами остова ротора и попадает в газоохладители, расположенные вертикально по два с обеих сторон корпуса.

В синхронном компенсаторе мощностью 100 МВ·А, 750 об/мин, корпус подшипника крепят к радиально расположенным лапам торцевых щитов. В корпусе подшипника имеется опорное кольцо, на которое установлен разъемный вкладыш с опорными изолированными колодками. Внутри вкладыша попарно вдоль оси вала расположены самоустанавливающиеся сегменты с бабитовой плоскостью трения. Смазку подшипников осуществляют от маслоустановки со встроенным водяным охладителем, устанавливаемым в фундаменте под машиной.

Остов ротора компенсатора выполнен полым из поковки с приставными валами, соединенными с остовом путем горячей посадки и фланцевым креплением. Во фланцах валов имеются окна для входа охлаждающего газа внутрь остова. В остове выполнены радиальные отверстия, через которые газ поступает к катушкам полюсов.

Для проведения работ при монтаже компенсатора, ревизий и ремонтов на тор-

Таблица 8.15. Технические данные синхронных компенсаторов с водородным охлаждением

Типоразмер компенсатора	Мощность при опере- жающем токе, МВ·А	Мощность при отстающем токе, МВ·А	Напря- жение, кВ	Частота вращения об/мин	Потери, кВт	Избыточ- ное давление, кПа	Возбуждение				Пусковые характеристики при 0,4 U _{ном}		
							положи- тельное		отрицатель- ное				
							Напряже- ние, В	Ток, А	Напряже- ние, В	Ток, А	$\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ном}}}$	t _п
КСВБО 50-11У1	50	40	11	750	800	100	150	1250	120	225	2,0	0,14	20
КСВБО 100-11У1	100	82,5	11	750	1350	200	195	1500	260	290	2,0	0,20	30
КСВБО 160-15У1	160	130	15,75	750	1750	200	300	1600	380	300	2,0	0,22	30

Продолжение табл. 8.15

Типоразмер компенсатора	ОКЗ	Момент инерции ротора, $10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	Масса, 10^3 кг			Индуктивные сопротивления, о. е.					Постоянные времени, с			
			статора	ротора	общая	x_d	x'_d	x''_d	x_q	x_0	T_{d0}	T'_d	T''_d	T_a
КСВБО 50-11У1	0,50	31,5	74,5	46	150	2,2	0,43	0,26	0,29	0,12	7,6	1,5	0,06	0,23
КСВБО 100-11У1	0,52	56,5	112	78	230	2,1	0,4	0,2	0,21	0,1	9,5	1,8	0,06	0,20
КСВБО 160-15У1	0,53	79	150	112	315	2	0,45	0,2	0,21	0,12	9,2	2,06	0,06	0,26

Примечание. В таблице приняты обозначения: $I_{п}$, $M_{п}$ — пусковые ток и момент; $t_{п}$ — время пуска.

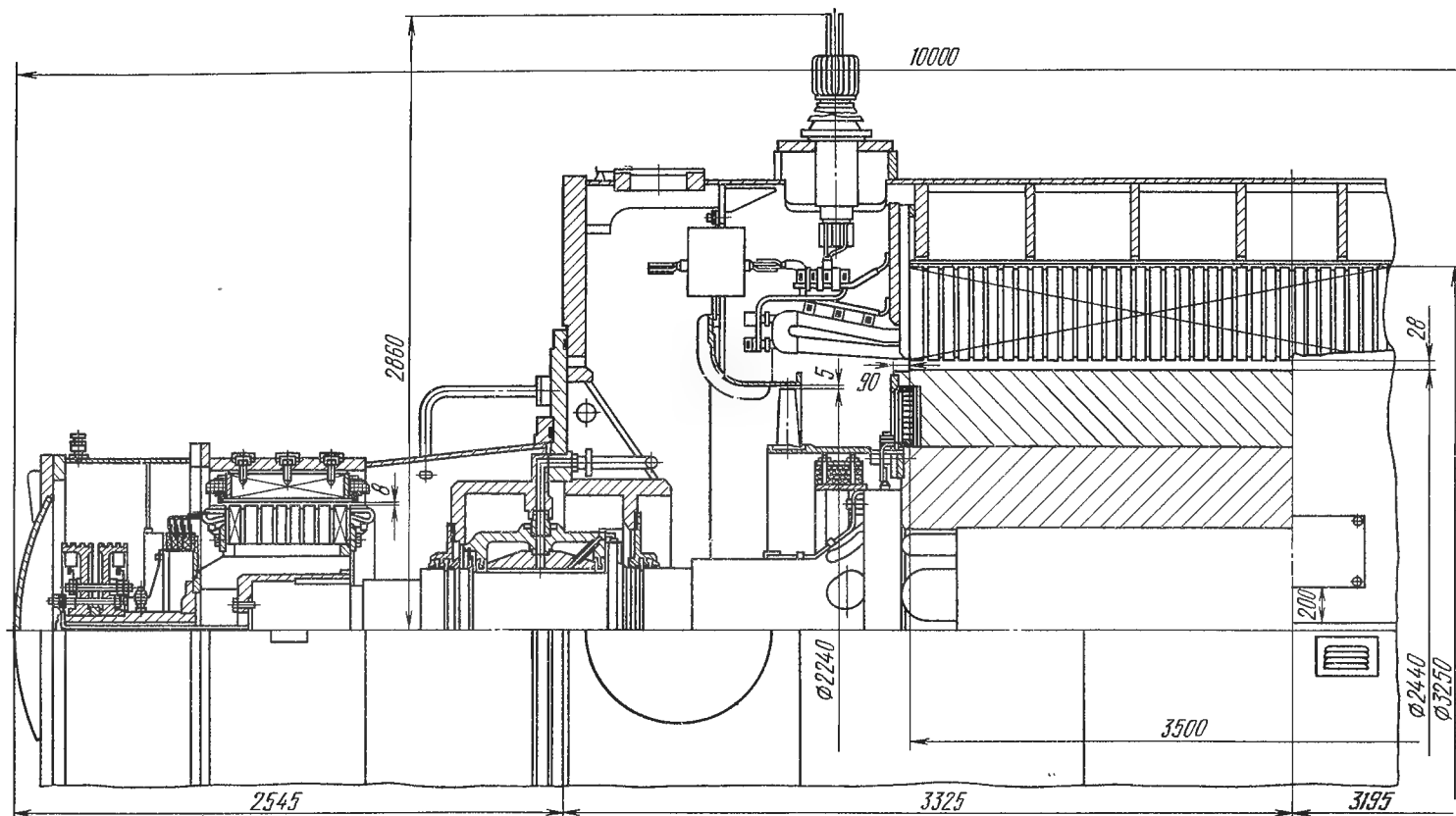


Рис. 8.10. Синхронный компенсатор мощностью 160 МВ·А, 750 об/мин

цевых фланцах имеются закрывающиеся лазы, а сверху корпуса, в зоне расположения подшипников, — монтажные люки.

Конструкция компенсатора мощностью 160 МВ·А, 750 об/мин (рис. 8.10) аналогична конструкции компенсаторов меньшей мощности. Для уменьшения габаритов газоохладители расположены горизонтально под корпусом в герметически закрытых кожухах по одному с каждой стороны компенсатора.

Обмотка статора — двухслойная с терморезистивной изоляцией стержней. На нулевых выводах установлены встроенные трансформаторы тока.

Охлаждение осуществляется по следующей схеме. Водород из охладителей направляется вентиляторами аксиально в междуполусные окна и в зазор между статором и ротором. Газ охлаждает внешние поверхности катушек полюсов и частично зубцовую зону сердечника и полюсные башмаки. Затем водород поступает в радиальные каналы между пакетами сердечника статора, которые имеют развитую поверхность охлаждения. Скорость водорода в каналах в зубцовой зоне 25–30 м/с, что обеспечивает охлаждение сердечника и стержней обмотки статора.

Нагретый газ после выхода из сердечника через окна в рамах корпуса проходит в кольцевые камеры над лобовыми частями обмотки и оттуда — в газоохладители. Охлажденный в газоохладителях водород вновь поступает в торцевые зоны корпуса перед вентиляторами.

8.5.4. Бесщеточная система возбуждения компенсаторов

В синхронных компенсаторах мощностью 50–160 МВ·А возбуждение бесщеточное, с применением реверсивной системы, с двумя обмотками на роторе. Основная обмотка служит для положительного возбуждения, а дополнительная обмотка создает встречный поток. Магнитодвижущая сила дополнительной обмотки составляет около 15% МДС основной обмотки. К основной обмотке ротора подключен диодный бесщеточный возбудитель положительного возбуждения, к дополнительной обмотке — возбудитель отрицательного возбуждения меньшей мощности. Возбудители выполнены герметически закрытыми. Они установлены с обеих сторон компенсатора. Якоря обращенных генераторов и блоки выпрямителей расположены на валу компенсатора.

К яру магнитной системы, которое является частью корпуса возбудителя, при-

креплены болтами полюсы с обмоткой возбуждения. Полюсы, шихтованные из листов стали толщиной 1,5 мм, имеют медную демпферную обмотку. Катушки возбуждения выполняются многослойными из изолированного провода марки ПСД.

Сердечник якоря шихтован из пакетов шириной 40 мм и спрессован фланцами. Обмотка якоря выполнена трехфазной, катушечной с изоляцией класса В. В возбудителе компенсатора 50 МВ·А число параллельных ветвей 8, в компенсаторах мощностью 100–160 МВ·А — 12. Катушки укреплены в пазах клиньями, а в лобовых частях — стеклобандажной лентой. Выводы параллельных ветвей каждой фазы присоединены к токособирательным кольцам, соединенным шинками с вращающимся выпрямителем. Нулевые выводы параллельных ветвей присоединены к одному кольцу. Остов якоря насажен на конеп вала компенсатора.

Вращающийся выпрямитель выполняет в виде двух вентильных цепей. Платы, на которых крепятся вентили, имеют сварную конструкцию и омедненные контактные поверхности в местах крепления диодов.

Охлаждение возбудителя осуществляется водородом по замкнутому циклу через встроенные газоохладители. Необходимый напор создается распорками в радиальных каналах якоря.

Бесщеточные возбудители для отрицательного возбуждения выполняются аналогично. Якорь возбудителя прикреплен к торцу вала компенсатора, а вращающийся выпрямитель — к якорю.

Пуск и останов компенсатора обеспечивает схема автоматического управления. На панелях предусмотрена световая и звуковая сигнализация включения двигателей маслонасосов и водяного охлаждения охладителей. Имеется также возможность контроля температуры статора, водорода, масла и охлаждающей воды.

Компенсатор снабжен следующими видами защит: продольной дифференциальной токовой, минимальной напряжения, максимальной токовой, от потери возбуждения, частотной при снижении частоты.

Автоматический регулятор возбуждения обеспечивает также следующие режимы работы компенсатора: рабочий с положительным, нулевым и отрицательным возбуждением, форсировки возбуждения с ограничителем тока ротора до двукратного и снижением его до номинального после 50 с форсировки, быстрого развозбуждения путем перевода тиристорного преобразователя в инверторный режим.

8.5.5. Система водородного охлаждения компенсаторов

Аппаратура системы водородного охлаждения обеспечивает поддержание при эксплуатации компенсатора рабочего давления водорода, контроль чистоты водорода, пополнение утечек.

Для заполнения и удаления газа компенсатор имеет два коллектора: углекислотный в нижней части под корпусом статора и водородный в верхней части внутри корпуса.

Водород из коллектора газового поста поступает в корпус компенсатора через редуктор давления, который служит также для автоматического поддержания давления водорода в корпусе. Заполнение компенсатора водородом и его поддувку выполняют вручную. Чистоту водорода в корпусе контролируют газоанализатором, показания анализатора дополняются сигналом о понижении содержания водорода.

Для контроля отсутствия жидкости в корпусе применяется индуктивное реле уровня жидкости, которое подключается к углекислотному коллектору. При попадании воды из газоохладителей или масла из системы смазки подшипников реле подает сигнал; кроме того, возможна визуальная проверка наличия жидкости через маслоуказательное стекло.

Температура водорода внутри корпуса контролируется с помощью термометрических сигнализаторов, устанавливаемых на выходе холодного газа из газоохладителя.

8.5.6. Пуск компенсаторов

Пуск компенсаторов — асинхронный при напряжении на обмотке статора, равном 0,4 номинального. При этом пусковой момент составляет 0,15–0,2 номинального (см. табл. 8.15) и длительность пуска — 20–35 с.

Компенсаторы мощностью 50, 100 и 160 МВ·А допускают повторный пуск в процессе выбега, а также в том случае, когда отключение произошло после короткого замыкания в сети и имело место кратковременное форсирование возбуждения (длительностью до 10 с). Перед пуском компенсатора подготавливают схемы водяной, масляной и газовой систем, проверяют сопротивления изоляции обмоток статора, ротора и подшипников.

8.5.7. Режимы работы компенсаторов

Компенсаторы могут работать с номинальной мощностью при изменении напря-

жения сети на $\pm 5\%$. При понижении напряжения на 10% ток статора может быть увеличен на 5%, т. е. мощность снижается на 5%. Компенсаторы допускают следующие кратности перегрузок и их длительность:

Кратность перегрузки	Допустимая длительность, мин
2	1
1,5	2
1,4	3
1,3	4
1,2	6
1,15	15
1,1	60

При глубоких понижениях напряжения в сети (более 15%) включается форсированное возбуждение, которое автоматически снимается после восстановления напряжения или в случае, если длительность аварии в сети выше 30–50 с. Ток форсировки — двукратный. Дополнительное превышение температуры обмоток при этом — примерно 15°C.

При изменении режимов охлаждения мощность компенсатора снижается, причем ограничение мощности определяется нагревом обмотки ротора. При повышении температуры охлажденного водорода выше 50°C компенсатор отключается от сети.

При уменьшении температуры воды не более чем на 10°C мощность может быть увеличена на 1,2% при воздушном охлаждении и на 0,8% при водородном на каждый градус снижения температуры охлаждающей воды. При уменьшении температуры воды более чем на 10°C дальнейшее увеличение мощности не рекомендуется.

8.6. Синхронные двигатели

8.6.1. Классификация синхронных двигателей

Технически и экономически обоснованный нижний предел номинальных мощностей синхронных двигателей составляет 500–600 кВт. Синхронные двигатели с частотой вращения 1000 об/мин и ниже выпускаются с явнополосными шихтованными роторами с демпферной обмоткой. Синхронные двигатели мощностью свыше 12 500 кВт с частотой вращения 1500 об/мин выполняют, как правило, с массивными полюсами без специальной демпферной (пусковой) обмотки.

Синхронные двигатели с частотой вращения 3000 об/мин — турбодвигатели — име-

ют неявно выраженное исполнение полюсов ротора. Ротеры этих двигателей выполняют из массивной поковки так же, как роторы турбогенераторов.

Синхронные двигатели выпускают в основном на напряжение 6000 и 10000 В. Номенклатура низковольтных двигателей на напряжение 380 В, имеющих мощность до 320 кВт, последовательно сокращается, и они заменяются на более экономичные асинхронные двигатели. Широко распространенные синхронные микродвигатели рассматриваются в т. 2 Справочника.

Большинство типов синхронных двигателей выпускают как машины общего назначения. Многие серии и типы синхронных двигателей предназначены для привода конкретных типов механизмов: компрессоров, различного рода мельниц, вентиляторов, резиносмесителей и грануляторов, экскаваторных агрегатов и др.

По форме исполнения в отдельную группу выделяют вертикальные двигатели, которые применяют для привода насосов. Горизонтальные двигатели могут иметь исполнение с двумя и одним подшипником и консольное исполнение.

Важными классификационными характеристиками синхронных двигателей являются степень защиты и система вентиляции и охлаждения. По этому признаку синхронные двигатели подразделяют на: открытые или брызгозащищенные, закрытые с разомкнутым циклом вентиляции, закрытые с замкнутым циклом вентиляции и встроенными водяными охладителями, закрытые с замкнутым циклом вентиляции с встроенными воздушными охладителями, закрытые взрывозащищенные продуваемые под избыточным давлением.

Большинство двигателей имеют само-вентиляцию, однако в машинах больших габаритов для охлаждения применяют и вентиляторы-наездники.

В настоящее время для возбуждения синхронных двигателей применяют только полупроводниковые статические или бесщеточные системы возбуждения.

Статические возбудители, как правило, питаются от постороннего источника. Выпускаются двигатели, которые имеют для питания возбуждения специальную дополнительную обмотку в пазах статора.

Бесщеточные возбудители обычно встраивают в конструкцию двигателя. В сериях СТД и СТДП применяют бесщеточное возбудительное устройство, которое является самостоятельным изделием и пристраивается к двигателю.

В синхронных двигателях малых габаритов широко используют подшипники качения, в крупных — подшипники скольжения.

Диапазон габаритов синхронных двигателей весьма широк: внешние диаметры сердечников статоров нарастают от 740 до 4500 мм. В настоящее время проектируют сверхмощные двигатели. Наиболее распространенные серии явнополусных синхронных двигателей имеют следующую структуру обозначения:

$$\frac{X}{1} - \frac{X}{2} - \frac{X}{3} - \frac{X}{4},$$

в которой: 1 — условное название серии и номер модификации; 2 — условное обозначение габарита; 3 — длина сердечника статора, см; 4 — число полюсов.

8.6.2. Синхронные явнополусные двигатели общего назначения серий СДН и СДНЗ

Синхронные двигатели серий СДН и СДНЗ предназначены для привода насосов, мельниц, вентиляторов, дымососов и других механизмов с небольшими маховыми массами, которые не требуют регулирования частоты вращения.

Как правило, двигатели работают в закрытых помещениях с искусственно регулируемым климатическими условиями. Температура окружающего воздуха по ТУ определяется от -20 до $+40^{\circ}\text{C}$ (исполнение У). При этом среднемесячное значение влажности окружающей среды в наиболее теплый и влажный период должно быть не более 80% при температуре $+20^{\circ}\text{C}$.

Степень защиты у двигателей СДН — IP00, двигателей СДНЗ — IP44. Двигатели работают в невзрывоопасной среде, не содержащей агрессивных газов и паров в концентрациях, которые могут разрушить металлы и изоляцию.

Двигатели этих серий выполняют со стационарной на лапах, с двумя стоячковыми подшипниками скольжения, с горизонтальным расположением вала с одним свободным цилиндрическим концом.

Корпус статора — сварной из листовой стали. Между пакетами сердечника статора имеются радиальные каналы для прохода охлаждающего воздуха. Сердечник запрессовывается в корпус и удерживается стяжными шпильками.

Обмотка статора — двухслойная, петлевая из обмоточного провода марки ПЭТВСД без дополнительной витковой изоляции. Корпусная изоляция — терморектив-

ная, класса нагревостойкости F, при этом температуры частей обмотки не превышают предусмотренных для изоляции класса В (ГОСТ 8865-70). Тепловое состояние обмотки и сердечника статора контролируют медными термометрами сопротивления, уложенными в пазы.

Магнитные колеса или остовы роторов выполняются из стального листового проката, их посадка осуществляется на вал двигателей с гарантированным натягом без шпонок.

Обмотка возбуждения намотана из неизолированной полосовой меди на ребро. Витки катушек изолированы друг от друга асбестовой бумагой и от корпуса — листами стеклотекстолита и гетинаксовыми (стекло-текстолитовыми) шайбами.

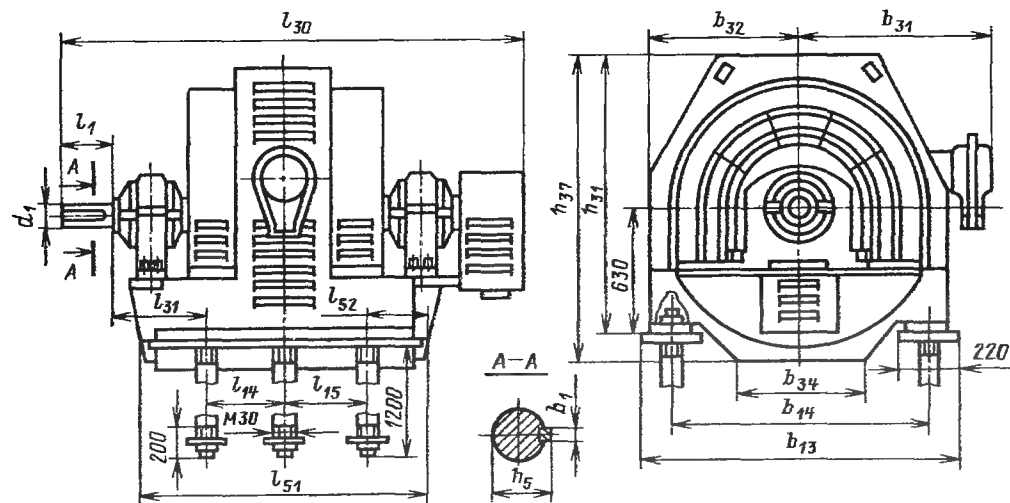
Пусковая (демпферная) обмотка выполнена из медных и латунных круглых стержней, замкнутых накоротко сегментами из полосовой меди.

Контактные кольца — стальные, подвес-

Таблица 8.16. Технические данные двигателей серий СДН-2 и СДНЗ-2 (напряжение 6 кВ, частота 50 Гц)

Типоразмер двигателей	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	КПД, %	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{s=0,05}}{M_{ном}}$	Момент инерции механизма при двух пусках, кг·м ²	Масса общая, 10 ³ кг
16-31-6	800	1000	95,3	2	6	0,85	1,5	375	4,4
16-36-6	1000		95,5	1,8	5,7	0,85	1,5	575	4,6
16-49-6	1250		95,9	1,9	6,6	1,1	1,8	750	5,6
16-59-6	1600		96,2	1,8	6,6	1,1	1,7	925	6,5
16-74-6	2000		96,6	1,8	7,0	1,2	1,7	1125	7,5
17-56-6	2500		96,7	1,9	6,8	1,3	1,5	1225	9,1
17-71-6	3200		96,9	1,7	6,6	1,3	1,4	1475	16
17-89-6	4000		97,1	1,7	7,0	1,4	1,4	1775	12,4
16-31-8	630	750	94,3	1,8	5,5	0,9	1,2	750	4,4
16-36-8	800		94,9	1,9	5,5	0,9	1,2	1150	4,6
16-46-8	1000		95,4	1,8	5,8	1	1,5	1400	5,4
16-59-8	1250		95,7	1,7	5,8	1	1,5	1700	6,4
17-21-8	2000		96,2	1,9	6,6	1,3	1,5	2200	9,1
17-71-8	2500		96,5	1,9	6,6	1,3	1,5	2775	10,7
16-36-10	630	600	94,4	1,8	5,0	0,75	1,4	1950	4,6
16-44-10	800		94,9	1,8	5,0	0,75	1,3	2200	5,2
16-56-10	1000		95,1	1,9	5,4	0,8	1,4	2775	6,2
17-44-10	1250		95,5	1,9	5,4	1,1	1,2	2775	7,5
17-51-10	1600		95,9	1,8	5,2	1	1,2	3200	8,5
17-64-10	2000		96,1	1,7	5,8	1	1,0	4025	10
16-36-12	500	500	93,7	1,9	5,2	1	1,3	2150	4,1
16-44-12	630		94,2	1,9	5,1	1	1,3	2475	4,7
17-31-12	800		94,3	1,9	4,7	1	1,1	2375	5,3
17-39-12	1000		94,9	1,8	4,5	1	1,0	2700	6
17-49-12	1250		95,3	1,9	5,2	1,1	1,2	3475	7,2
18-64-12	2500		96,2	1,8	6,5	1,2	1,4	5000	17
17-19-16	315	375	91,1	2,1	4,6	0,9	1,1	3150	3,9
17-21-16	400		91,4	2,1	4,4	0,85	1,1	3175	4,1
17-26-16	500		92,5	2,1	4,6	0,9	1,1	3750	4,5
17-31-16	630		93,3	2	4,5	0,85	1,1	4400	5,1
17-41-16	800		94,1	1,8	4,2	0,75	1,0	5200	5,8
19-39-16	1600		95,3	2,1	6,5	0,9	1,6	16000	16,5
17-26-20	315	300	91	2,6	4,5	0,9	1,0	5875	4,4
17-31-20	400		91,7	2,7	4,5	0,75	1,0	6225	4,9
17-41-20	500		92,8	2,5	4,6	0,75	1,1	7850	5,7
20-49-20	3150		96	1,8	4,5	0,8	0,9	21000	22
18-34-24	500	250	92,8	2,5	5	0,9	0,9	20000	8,9
19-34-24	1250		94,5	2,3	5	0,9	0,9	25000	16,2
19-49-24	1600		95,3	2,4	5	0,9	0,8	20000	17

Таблица 8.17. Габаритные, установочные и присоединительные размеры, мм, двигателей серии СДН-2



Типоразмер двигателя	b_1	b_{13}	b_{14}	b_{31}	b_{32}	b_{34}	d_1	h_5	h_{31}	h_{37}	l_1	l_{14}	l_{15}	l_{30}	l_{31}	l_{51}	l_{52}
СДН-2-16-31-6	32	1520	1320	750	750	700	130	141	1380	1500	250	355	400	2280	450	1200	225
СДН-2-16-36-6	32						130	141			250	400	450			1250	200
СДН-2-16-49-6	36						140	152			250	500	450			1380	230
СДН-2-16-59-6	40						160	174			300	560	500			1480	230
СДН-2-16-74-6	40						160	174			300	630	560			1630	250
СДН-2-16-31-8	32						130	141			300	355	400			1200	225
СДН-2-16-36-8	36						140	152			250	400	450			1250	200
СДН-2-16-46-8	36						150	162			250	500	400			1350	250
СДН-2-16-59-8	40						160	174			300	560	450			1480	230
СДН-2-16-36-10	36						140	152			250	400	450			1210	185
СДН-2-16-44-10	36						150	162			250	500	400	2330		1290	215

Типоразмер двигателя	b_1	b_{13}	b_{14}	b_{31}	b_{32}	b_{34}	d_1	h_5	h_{31}	h_{37}	l_1	l_{14}	l_{15}	l_{30}	l_{31}	l_{51}	l_{52}	
СДН-2-16-56-10	40						160	174			300	560	450	2510		1410	235	
СДН-2-16-36-12	36						140	152			300	400	450	2250		425	1210	185
СДН-2-16-44-12	36						140	152			300	500	400	2330			1290	215
СДН-2-17-56-6	45				925		180	195			300	560	600	2640	475	1610	280	
СДН-2-17-71-6	45				1125		200	215			350	710	600	2850		1770	290	
СДН-2-17-89-6	50						220	237			350	800	560	3030			1995	320
СДН-2-17-44-8	50						180	195			300	500	400	2410	425	1430	285	
СДН-2-17-56-8	50						180	195			300	560	450	2580	550	1550	285	
СДН-2-17-71-8	50						200	215			350	710	450	2790	550	1710	295	
СДН-2-17-44-10	45	1870	1600	1125			180	195			300	500	400	2410	425	1430	285	
СДН-2-17-51-10	45						180	195			300	560	400	2530	450	1500	285	
СДН-2-17-64-10	45						200	215			350	630	450	2720	450	1640	305	
СДН-2-17-31-12	36						150	172			250	355	400	2210	425	1280	280	
СДН-2-17-39-12	45				925	800	180	195	1530	1800	300	400	450	2340	425	1360	265	
СДН-2-17-49-12	45						180	195			300	500	400	2490	450	1460	305	
СДН-2-17-19-16	32						130	141			250	280	315	2020	425	1100	250	
СДН-2-17-21-16	32						130	141			250	250	315	2040		1120	270	
СДН-2-17-26-16	36						140	152			250	250	355	2090		1170	280	
СДН-2-17-31-16	40						160	174			300	315	400	2020		1220	260	
СДН-2-17-41-16	45						180	195			300	355	450	2300		1320	270	
СДН-2-17-26-20	32						130	141			250	280	355	2090		1170	280	
СДН-2-17-31-20	36						140	152			250	315	400	2150			1220	260

ного типа. Траверса для крепления силовых щеткодержателей состоит из двух оцинкованных стальных шин, щетки — марки ГЗ.

Подшипники скольжения — стояковые, литые, разъемные, с кольцевой или комбинированной смазкой. Температуру подшипников контролируют с помощью термометров сопротивления.

Фундаментные плиты и балки — сварные из листового стального проката.

Двигатели серий СДН и СДНЗ допускают прямой асинхронный пуск от номинального напряжения сети. Из холодного состояния с интервалом не менее 5 мин возможны два пуска, из горячего состояния допускается один пуск. При этом средний статический момент сопротивления на валу двигателя в период пуска должен быть не более $0,4M_{\text{ном}}$.

Технические данные двигателей приведены в табл. 8.16. Рекомендуется, чтобы общее число пусков не превышало 500 в год.

Возбуждение и управление пуском и остановом двигателей осуществляется от тиристорных возбуждателей типа ТЕ8-320 с напряжением питающей сети 380 В переменного тока.

Гарантийный срок для двигателей устанавливается 2 года со дня ввода в эксплуатацию при наработке 10 000 ч.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей приведены в табл. 8.17.

8.6.3. Синхронные явнополосные компрессорные двигатели серий СДК, СДКП, СДКМ

Двигатели серий СДК, СДКП, СДКМ (рис. 8.11) предназначены для привода компрессоров. Двигатели серии СДК (табл. 8.18) предназначены для невзрывоопасной окружающей среды, в которой не содержится токопроводящая пыль, агрессивные газы и пары. Двигатели серии СДКП (табл. 8.19) применяют во взрывоопасных зонах (помещениях). Для привода аммиачных поршневых компрессоров предназначены двигатели серии СДКМ (табл. 8.20).

Исполнение двигателей — горизонтальное, консольное (ротор насаживается на консольный конец вала компрессора). Корпус статора — сварной из листового стали, имеет опорные лапы с отверстиями для крепления и штифтовки двигателя на фундаментных

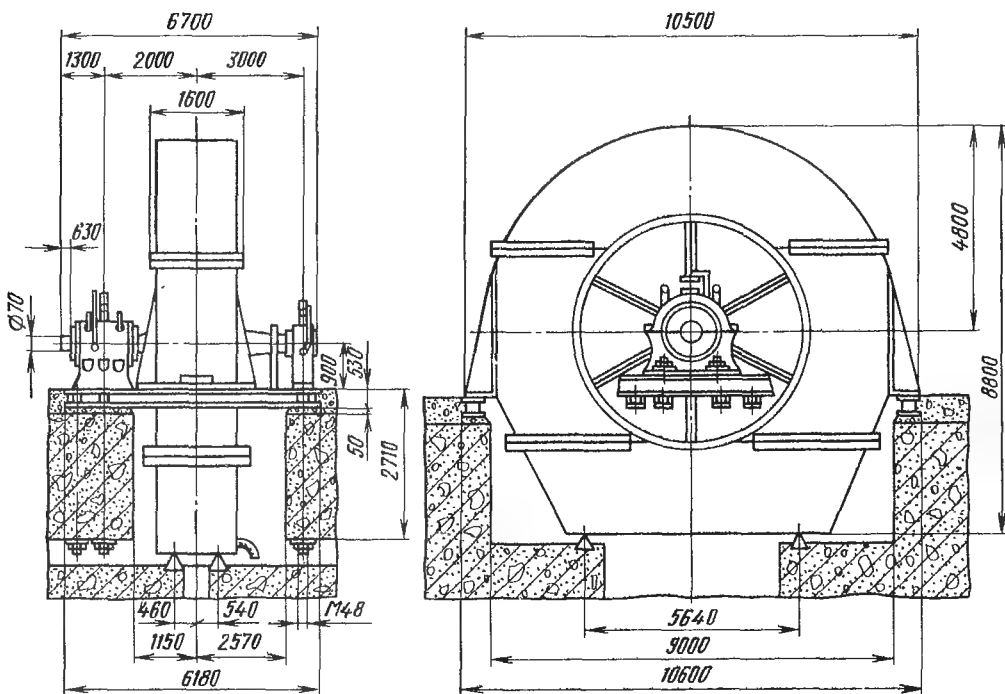


Рис. 8.11. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателя типа СДМЗ-2-24-59-80

плитах. В лапах предусмотрены также резьбовые отверстия для отжимных болтов. В боковых частях корпуса имеются вырезы для выхода горячего воздуха.

Статор устанавливают на двух фундаментных плитах, при этом предусматривается возможность сдвига статора таким образом, чтобы был обеспечен вертикальный выем вала компрессора с насаженным на него ротором, но с предварительным снятыми контактными кольцами. Сердечник стато-

Таблица 8.18. Технические данные двигателей серии СДК ($\cos\varphi = 0,9$)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Ток статора, А	КПД, %	$\frac{I_n}{I_{ном}}$	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{M_s=0,05}{M_{ном}}$	Возбуждение		Тип тиристорного возбудителя	Момент инерции ротора, 10 ³ кг·м ²	
								Напря- жение, В	Ток, А			
Номинальная частота вращения 600 об/мин												
СДК2-16-24-10КУ4	400	6000	45,5	93,4	4,9	0,75	1,4	1,95	27	265	TE8-320/48T-5Y3	0,1
Номинальная частота вращения 514 об/мин												
СДК2-16-29-14КТ4	320	6000	37	93	5,72	0,93	1,2	2,66	32,7	262,8	TE8-320/48T-5T4	0,17
СДК2-17-29-14КТ4	630	6000	71	94,3	4,83	0,75	1	2,31	47,8	270,6	TE8-320/75T-5T4	0,25
Номинальная частота вращения 500 об/мин												
СДК2-16-24-12КУ4	315	6000	37	92,3	5,5	1,1	1,3	2,2	29	295	TE8-320/48T-5Y4	0,13
СДК2-16-36-12КУ4	500	6000	57,0	93,7	5,2	1	1,3	1,95	35	295	TE8-320/48T-5Y4	0,14
СДК2-17-26-12КУ4	630	6000	71	94,1	4,5	0,95	1	1,95	40	285	TE8-320/48T-5Y4	0,26
Номинальная частота вращения 375 об/мин												
СДК2-17-26-16КУ4	500	6000	57,0	93	4,5	0,8	1,1	2,10	43	305	TE8-320/48T-5Y3	0,28

Таблица 8.19. Технические данные двигателей серии СДКП ($\cos\varphi = 0,9$)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения об/мин	Ток статора, А	КПД, %	$\frac{I_n}{I_{ном}}$	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{M_s=0,05}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Тип тиристорного возбудителя	Момент инерции ротора, $10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	Масса ротора, кг, не более
СДКП2-16-29-10КУХЛ4	500	6000	600	57	94	5,2	0,80	1,5	2,00	TE8-320/48T-5Y4	0,53	1200
СДКП2-16-24-12КУХЛ4	315	6000	500	37	92,2	5,5	1,10	1,3	2,20	TE8-320/48T-5Y4	0,51	1050
СДКП2-16-29-12КУХЛ4	400	6000	500	45	93	5,0	1,00	1,2	1,90	TE8-320/48T-5Y4	0,56	1225
СДКП2-16-36-12КУХЛ4	500	6000	500	57	93,7	5,2	1,00	1,3	1,95	TE8-320/48T-5Y4	0,70	1378
СДКП2-17-26-12КУХЛ4	630	6000	500	71	94	4,5	0,95	1,0	1,95	TE8-320/48T-5Y4	1,25	1715
СДКП2-17-31-12КУХЛ4	800	6000	500	90,5	94,5	4,7	1,1	1,1	2,10	TE8-320/75T-5Y4	1,40	1795
СДКП2-16-24-12КУХЛ4	315	10000	500	21,9	91,9	5,2	0,95	1,0	2,17	TE8-320/48T-5Y4	0,51	1050
СДКП2-17-26-12КУХЛ4	630	10000	500	43,1	93,8	4,4	0,60	1,0	1,87	TE8-320/75T-5Y4	1,25	1715

Таблица 8.20. Технические данные двигателей серии СДКМ

Типоразмер двигателя	Мощность активная, кВт	Мощность полная, кВт · А	Ток статора, А	КПД, %	Частота вращения, об/мин	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{НОМ}}}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{НОМ}}}$	$\frac{M_s = 0,05}{M_{\text{НОМ}}}$
СДКМ2-16-24-12КУХЛ4	315	385	37	92,2	500	5,05	1,1	1
СДКМ2-16-29-12КУХЛ4	400	480	46	93		4,65	1,15	1,26
СДКМ2-16-36-12КУХЛ4	800	940	90,5	94,5		5,20	1	1,3
СДКМ2-17-26-12КУХЛ4	630	740	71	94		4,48	1,03	1
СДКМ2-17-31-12КУХЛ4	800	940	90,5	94,5		5,20	1,30	1

Продолжение табл. 8.20

Типоразмер двигателя	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{НОМ}}}$	Возбуждение		Тип тиристорного возбудителя	Момент инерции ротора, $10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
		Напряже-ние, В	Ток, А		
СДКМ2-16-24-12КУХЛ4	1,09	29	295	ТЕ8-320/48Т	0,13
СДКМ2-16-29-12КУХЛ4	1,8	30	285	ТЕ8-320/48Т	0,24
СДКМ2-16-36-12КУХЛ4	1,95	35	285	ТЕ8-320/48Т	0,14
СДКМ2-17-26-12КУХЛ4	1,94	40	285	ТЕ8-320/48Т	0,27
СДКМ2-17-31-12КУХЛ4	1,85	46	305	ТЕ8-320/75Т	0,35

ра — шихтованный из сегментов. Сегменты собирают в пакеты толщиной 40 мм и разделяют вентиляционными каналами.

Изоляция обмоток статора и ротора двигателей по нагревостойкости соответствует классу В. Изоляция обмотки статора — термореактивная, типа «монолит-2».

Обмотка статора двигателей имеет шесть выводных концов и соединяется в звезду. Выводные концы обмотки статора выведены на изоляторы. В двигателях типа СДКП выводные концы обмотки располагаются в коробке выводов, продуваемой под избыточным давлением.

Для контроля температуры обмотки и сердечника статора между двумя слоями обмотки и на дне паза уложены термометры сопротивления.

В двигателях серии СДКМ щиты — штампованные, сборные. Они защищают внутреннюю полость двигателя от попадания посторонних предметов и обеспечивают в нем необходимое направление потока воздуха.

Магнитные колеса ротора выполнены из стали. Сердечники полюсов изготовляют из листовой стали и крепят шпильками к ободу магнитного колеса.

Для обеспечения циркуляции охлаждающего воздуха внутри двигателя на магнитное колесо крепят напорные вентиляционные элементы.

Двигатели серии СДКП изготовляют

с разомкнутым или замкнутым циклом вентиляции. При замкнутом цикле вентиляции охлаждение воздуха осуществляют водяными воздухоохладителями, встроенными в корпуса двигателей. Температура охлаждающей воды на входе в воздухоохладитель обычно должна быть не выше $+30^\circ\text{C}$, а давление воды в воздухоохладителях — не более 300 кПа. При разомкнутом цикле вентиляции избыточное давление поддерживают вентилятором, обеспечивающим номинальный расход воздуха. Избыточное давление регулируют заслонкой, установленной на патрубке выхода нагретого воздуха. При замкнутом цикле вентиляции избыточное давление создается вентилятором подпитки. Перед пуском электродвигателя продувают воздухом в количестве, обеспечивающем продувку не менее пятикратного объема всей вентиляционной системы. Для автоматизации процесса продувки при замкнутом цикле вентиляции на корпусе электродвигателя предусмотрен механический клапан продувки. Для подпитки и создания избыточного давления система вентиляции обеспечивает забор воздуха из невзрывоопасной зоны (помещения). При снижении статического давления воздуха в системе продувки ниже 98 Па двигатели автоматически выключаются.

В двигателях серии СДКМ охлаждение двигателей — воздушное в режиме самовентиляции, а контактных колец и траверсы —

воздушное принудительное. Перед пуском и во время работы кожух контактных колец продувают непрерывно чистым воздухом, не содержащим огне- и взрывоопасных газов, паров и пыли. Содержание нетокоспроводящей пыли в окружающем воздухе не должно превышать $0,2 \text{ мг/м}^3$.

Обмотка возбуждения двигателей всей серии состоит из катушек, насаженных на сердечники полюсов. Катушки изготавливают из полосовой меди, намотанной на ребро.

Пусковая клетка состоит из круглых медных или латунных стержней, расположенных в пазах полюсного наконечника, и медных сегментов, к которым приварены стержни. Все сегменты соединены между собой и образуют замкнутый контур.

Возбуждение двигателей осуществляют от тиристорных возбудителей, которые обеспечивают: возбуждение электродвигателя во всех нормальных режимах работы; ручное или автоматическое регулирование тока возбуждения; подачу возбуждения при пуске

электродвигателя в функции тока статора; гашение поля при отключении электродвигателя.

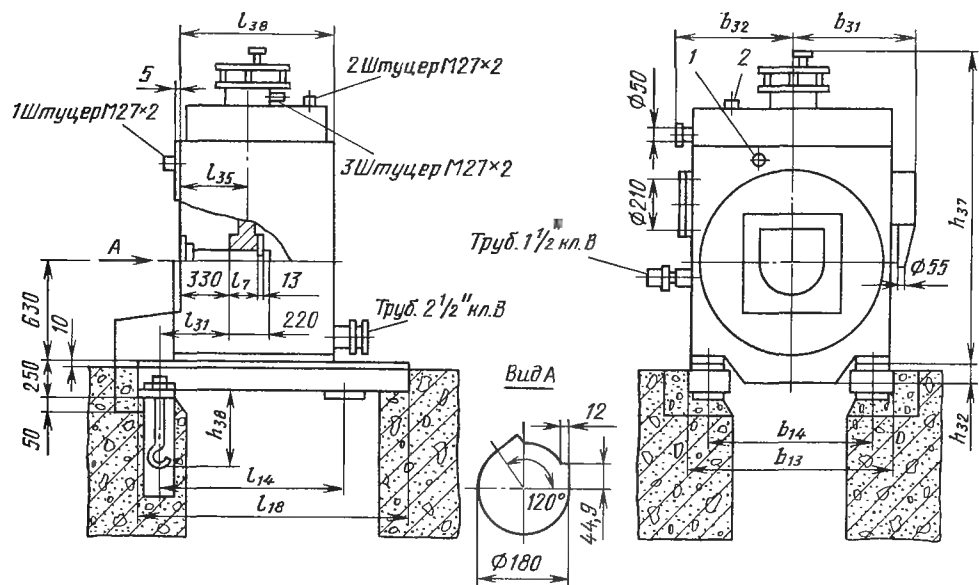
Тиристорный возбудитель имеет защиту от аварийных перегрузок, от неисправностей системы охлаждения и цепей управления, а также от асинхронного хода синхронного двигателя. Тиристорные возбудители выполнены на напряжение 380 В. Их подключают к сети через силовые согласующие трансформаторы.

Пуск электродвигателей — асинхронный, непосредственно от сети при полном напряжении с разгруженным компрессором. Пусковые характеристики двигателей различных типов приведены в табл. 8.18—8.20.

Гарантийный срок службы двигателей серий СДК, СДКМ и СДКП устанавливается 2,5 года со дня пуска двигателей в эксплуатацию при гарантийной наработке примерно 12000 ч.

Габаритные и присоединительные размеры двигателей серии СДКП приведены в табл. 8.21.

Таблица 8.21. Габаритно-присоединительные размеры, мм, двигателей серии СДКП



Типоразмер двигателя	b_{13}	b_{14}	b_{31}	b_{32}	l_7	l_{14}	l_{18}	l_{31}	l_{35}	l_{38}	h_{32}	h_{37}	h_{38}	Масса 10 ³ кг
СДКП12-16-29-10КУХЛ4	1550	1350	900	810	200	1060	1600	375	430	970	120	2250		4
СДКП12-16-24-12КУХЛ4			900	810	150	1060	1600	375	405	915	120	2250		3,7
СДКП12-16-29-12КУХЛ4			900	810	150	1060	1600	375	430	965	120	2250	900	4
СДКП12-16-36-12КУХЛ4			900	810	200	1120	1750	380	450	1020	120	2250		4,65
СДКП12-17-26-12КУХЛ4	1850	1650	1130	970	200	1060	1600	400	430	950	270	2450		5,21
СДКП12-17-31-12КУХЛ4			1130	970	200	1120	1750	400	430	975	270	2450		5,65

8.6.4. Синхронные явнополусные двигатели серии СДКП2 18—21-го габаритов

Двигатели СДКП2 (табл. 8.22) предназначены для привода компрессоров, установленных во взрывоопасных помещениях всех классов за исключением В-1 в режиме S1 от сети с частотой 50 Гц. Климатическое исполнение и категория размещения — УХЛ4. Цифры в условном обозначении двигателей, стоящие после названия серии (СДКП2), определяют: 1 — условный габарит, 2 — длину сердечника статора, см; 3 — число полюсов. Буквой М после цифр обозначаются модернизированные двигатели, буквой Ф — фланцевое исполнение конца вала.

Возбуждение — от возбудителя типа ТЕ-320-5. Пуск — асинхронный при разгруженном компрессоре от полного напряжения сети при включении в цепь обмотки возбуждения разрядного резистора.

Класс нагревостойкости изоляции обмо-

ток статора и ротора — В. Обмотка статора соединена в звезду, имеет шесть выводов.

Коэффициент готовности двигателей 0,98; срок службы 20 лет. Двигатели изготавливаются в соответствии с ТУ 16-512.333-79.

8.6.5. Синхронные явнополусные двигатели серии СДМЗ для привода мельниц

Синхронные явнополусные двигатели серий СДМЗ (табл. 8.23) предназначены для привода шаровых и стержневых мельниц в продолжительном режиме работы в закрытых помещениях с искусственно регулируемым климатическими условиями. Запыленность окружающего воздуха не должна превышать 4 мг/м^3 . При большей запыленности необходима работа двигателей под избыточным давлением с подпиткой чистым воздухом с запыленностью не более 2 мг/м^3 . Степень защиты двигателей — IP44.

Таблица 8.22. Технические данные синхронных двигателей СДКП2 18—21-го габаритов (частота 50 Гц, $\cos \varphi = 0,9$)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	Ток статора, А	Напряжение возбуждения, В	Ток возбуждения, А	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{с}}=0,05}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{ном}}}$
СДКП2-18-26-16УХЛ4	800	93,8	92	59	260	2	0,7	1	4,5
СДКП2-18-34-16УХЛ4	1000	94,6	110	70	250	2	0,8	0,8	5
СДКП2-18-41-16УХЛ4	1250	94,8	140	75	256	2,1	0,9	0,9	5
СДКП2-19-39-16УХЛ4	2000	95,6	225	80	270	1,9	0,8	1,2	5,5
СДКП2-19-61-16УХЛ4	3150	96,2	355	105	270	1,9	0,8	1,3	5,5
СДКП2-20-49-16ФУХЛ4	4000	96,2	445	110	240	1,9	0,7	1,2	5
СДКП2-20-56-16ФУХЛ4	4000	96	265	100	285	1,9	1	1,5	6,5
СДКП2-20-61-16ФУХЛ4	5000	96,5	550	125	240	1,8	0,8	1,3	5,5
СДКП2-21-46-20ФУХЛ4	5000	96,3	550	146	265	1,9	0,8	1	5,5
СДКП2-21-56-24ФУХЛ4	5000	96,3	555	170	260	1,8	0,8	1,3	5,5
СДКП2-18-51-16МФУХЛ4	1600	95,5	179	89	230	2,1	0,65	1,1	5,5
СДКП2-19-39-16МФУХЛ4	2000	95,6	225	80	270	1,9	0,8	1,2	5,5
СДКП2-20-61-16МФУХЛ4	5000	96,5	550	125	240	1,8	0,8	1,3	5,5

Примечание. Частота вращения двигателей СДКП2-21-46-20Ф — 300 об/мин, СДКП2-21-56-24Ф — 250 об/мин, остальных — 375 об/мин. Номинальное напряжение двигателей СДКП2-20-56-16Ф — 10 000 В, остальных — 6000 В.

Таблица 8.23. Технические данные двигателей серии СДМЗ на 6000 В, 50 Гц

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Ток статора, А	$\cos \varphi$	КПД, %	Частота вращения, об/мин	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{с}}=0,05}{M_{\text{ном}}}$	Допустимый момент инерции механизма, $10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	Масса двигателя, 10^3 кг
СДМЗ-2-22-34-60У4	1600	185	0,85	93,6	100	2,8	6,3	1,2	1,3	38	43,1
СДМЗ-2-22-41-60У4	2000	229	0,85	94,3	100	2,8	6,3	1,1	1,3	33	45,5
СДМЗ-2-24-59-80У4	4000	451	0,90	95	75	3,6	9,0	1,2	1,3	33	171,4

Двигатели выполняются с горизонтальным расположением вала на двух стойковых подшипниках скольжения с комбинированной смазкой.

Исполнение двигателей — закрытое, с принудительной системой вентиляции по замкнутому пиклу через воздухоохладители, установленные в фундаментной плите. Для двигателей применена диаметрально-радиальная схема вентиляции, при которой охлажденный в двух воздухоохладителях воздух поступает в ограниченную перегородками часть корпуса статора и через радиальные каналы статора и междуполусные каналы ротора направляется в отсек камеры корпуса статора, расположенный за перегородками, и далее вентилятором нагнетается в воздухоохладители.

Корпус статора двигателя — сварной из листовой стали, состоит из стоек, соединенных продольными ребрами жесткости, лап и внешней обшивки. Корпуса выполняются разъемными. В двигателе СДМ 32-24-59-80 корпус разделен на четыре части. Сегменты активной стали набирают на клинья типа ласточкина хвоста и удерживают в запрессованном состоянии стяжными шпильками, вынесенными за пределы спинки статора.

Обмотка статора — двухслойная петлевая, из обмоточного провода марок ПЭТВСД и ПСД. Корпусная изоляция — терморезистивная. Обмотку в пазовой части уплотняют волнистым стеклотекстолитом и крепят стеклотекстолитовыми клиньями, в лобовой части — изолированными бандажными кольцами и дистанционными прокладками. Обмотка имеет шесть выводов, выведенных в фундаментную яму.

Щиты двигателей — плоские, разъемные, из листовой стали толщиной 5 мм.

Магнитные колеса ротора — разъемные, из листовой стали. Крутящий момент передается через тангенциальные шпонки.

Обмотка возбуждения состоит из отдельных катушек, изготовленных из неизолированной полосовой меди, намотанной на ребро.

Сердечники полюсов набирают из листовой стали толщиной 1 мм и прикрывают к ободу магнитного колеса шпильками. В пазы полюсного наконечника укладывают демпферную обмотку, состоящую из медных и латунных стержней, замкнутых медными сегментами. Все сегменты полюсов соединяются между собой внахлест так, чтобы образовались кольца с каждой стороны ротора.

Подшипники ротора — подшипники

скольжения, литые, разъемные с комбинированной (принудительной и кольцевой) смазкой. В местах выхода вала из стоека имеются силуминовые лабиринтные уплотнения. Масло в подшипники подают под давлением 25–30 кПа. Подшипники обеспечивают свободный выбег ротора при выходе из строя системы принудительной смазки. Для устранения подшипниковых токов подшипник со стороны, противоположной приводу, изолирован от фундаментной балки.

Возбуждение двигателей осуществляют от тиристорных возбудителей типа ТЕ8-320/150 и ТЕ8-320-230. Данные возбуждения двигателей приведены ниже:

Тип двигателя	Ток, А	Напряжение, В
СДМЗ-2-22-34-60У4	290	147
СДМЗ-2-22-41-60У4	285	134
СДМЗ-2-24-59-80У4	270	240

Тиристорные возбудители обеспечивают автоматическое регулирование тока возбуждения, в том числе и при аварийных режимах.

Двигатели допускают два пуска подряд из холодного состояния или один пуск из практически установившегося горячего состояния при условии, что средний статический момент сопротивления механизма на валу за время пуска не превышает $0,8M_{\text{ном}}$. Последующий цикл возможен через 2 ч. Для обеспечения долговечности двигателей общее количество пусков должно быть минимальным и не должно превышать 500 пусков в год.

Гарантийный срок устанавливается 2 года при наработке 10 000 ч. Средний срок службы до списания — 20 лет.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателя типа СДМЗ-2-24-59-80 приведены на рис. 8.11.

8.6.6. Синхронные явнополюсные двигатели серии СДМП2 19-го габарита

Двигатели СДМП2 (табл. 8.24) предназначены для привода шаровых и стержневых мельниц, установленных в помещениях со взрывоопасной средой. Режим работы — S1. Климатическое исполнение и категория размещения — УХЛ4. В обозначении после названия серии (СДМП2) указывается: 1 — цифра — условный габарит (19); 2 — длина сердечника, см; 3 — число полюсов; 4 — номинальное напряжение, кВ.

Конструктивное исполнение двигате-

Таблица 8.24. Технические данные синхронных двигателей СДМП2 19-го габарита, напряжение 6000 В

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	КПД, %	Ток возбуждения, А	Напряжение возбуждения, В	$\frac{M_p}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_s=0,05}{M_{ном}}$	$\frac{I_p}{I_{ном}}$	Момент инерции ротора, $10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
СДМП2-19-26-32-6УХЛ4	400	187,5	92,6	220	55	1,2	2,1	1,6	6,6	1,8
СДМП2-19-26-24-6УХЛ4	630	250	93,7	265	50	1,2	2,4	1,6	6,2	1,6
СДМП2-19-31-32-6УХЛ4	500	187,5	93	235	55	1,2	2,3	1,7	7	2,1
СДМП2-19-31-24-6УХЛ4	800	250	94	280	50	1,4	2,4	1,6	6,5	2,1
СДМП2-19-41-32-6УХЛ4	630	187,5	93,5	227	60	1,2	2,2	1,6	6,9	2,8

лей — ИМ7311. Исполнение по степени защиты — IP43. Система вентиляции — ICA37 с отдельным независимым вентилятором. Изоляция обмотки статора — терморезистивная типа «моноклит». Обмотка соединена в звезду и имеет шесть выводов; коробка выводов расположена снизу корпуса в фундаментной яме.

Двигатель рассчитан на пуск при номинальном напряжении с включенным в цепь обмотки возбуждения разрядным резистором. Возбуждение — от статического тиристорного возбудителя типа ТВ300Р-УХЛ4. Подшипники скольжения — с кольцевой смазкой. Средний уровень звука 87 дБА (по шкале А). Показатели надежности: коэффициент готовности 0,98, ресурс до первого ка-

питального ремонта 35000 ч, срок службы 20 лет.

Двигатели изготавливаются в соответствии с ТУ 512.481-81Е.

8.6.7. Синхронные явнополусные двигатели серии ДСП

В условном обозначении двигателей после названия серии (ДСП — двигатели синхронные продуваемые) в числителе дроби указывается внешний диаметр, см, а в знаменателе — длина сердечника статора, см; далее следует цифра, указывающая число полюсов двигателя, и обозначение климатического исполнения и категории размещения.

Исполнение двигателей по степени защиты — IP43, контактных колец — IP00. Вен-

Таблица 8.25. Технические данные синхронных двигателей серий ДСП 140 и ДСП 170 (частота тока 50 Гц, частота вращения 1500 об/мин, $\cos \varphi = 0,9$)

Показатель	ДСП 140/64-4УХЛ4	ДСП 140/74-4УХЛ4	ДСП 140/74-404	ДСП 140/74-4УХЛ4	ДСП 140/84-4УХЛ4	ДСП 170/74-4УХЛ4
Мощность, кВт	2000	2000	2000	3150	2500	5000
Напряжение статора, В	6000	6000	6000/6300/6600	6000	6000	6000
Ток статора, А	225	225	225/214/205	350	280	525
КПД, %	95,4	95,6	95,6	96,6	95,9	96,3
Напряжение на кольцах ротора, В, при возбуждении:						
тиристорном	30	30	—	30	25	30
электромашином	25	25	25	30	25	30
Ток ротора, А, при возбуждении:						
тиристорном	360	340	—	500	390	600
электромашином	465	425	380	500	390	600
Кратность пускового ток	6,5	8,6	4,5/4,7/4,8	5,7	3,7	6,5
Кратность пускового момента	1,5	2	0,63/0,68/0,6	1,4	0,55	1,5
Кратность максимального момента	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65

Примечание. Для двигателя ДСП 140/74-404 токи и моменты приведены для различных напряжений статора.

тиляция осуществляется по замкнутому контуру с воздухоохладителями, расположенными в фундаментной яме. Способ охлаждения — ICW37A91. Конструктивная форма исполнения — IM7311. Двигатели предназначены для эксплуатации от трехфазной сети с частотой 50 Гц в длительном режиме — S1. Класс нагревостойкости изоляции обмотки статора — В, обмотки ротора — F. Срок службы двигателей 20 лет; ресурс до первого капитального ремонта 35 000 ч.

Технические данные двигателей ДСП 140 и ДСП 170, предназначенных для приводов насосов, нагнетателей и других производственных механизмов приведены в табл. 8.25. Частота вращения двигателей 1500 об/мин. Коэффициент мощности 0,9 (опережающий). Обмотка статора соединена в звезду, имеет шесть выводов. Возбуждение — от тиристорного возбудителя или электромашинного возбудителя типа ПВ101. Двигатели выпускаются в соответствии с ТУ 16-512.257-76.

Двигатели типа ДСП 143/84—4УХЛ4 и ДСП 143/84—404 предназначены для привода нагнетателей типа 7500—11—1, выпускаются в соответствии с ТУ 16-512.155-76, имеют следующие технические данные:

Мощность, кВт	2500
Напряжение, В	10 000
Ток статора, А	169
Частота вращения, об/мин	1500
cos φ (опережающий)	0,9
КПД, %	96
Кратность максимального момента	1,7
Кратность пускового момента	0,9
Кратность пускового напряжения	0,65
Кратность пускового тока	4

Возбуждение двигателей — от статического тиристорного возбудителя типа ТВ400-4У4 или от пристроенного электромашинного возбудителя типа ПВ101. Обмотка статора соединена в звезду и имеет три вывода.

Двигатели типа ДСП 173/64-8УХЛ4

предназначены для привода дымососов или вентиляторов; выпускаются в соответствии с ТУ 16-512.128-75, имеют следующие технические данные:

	Режим 1	Режим 2
Мощность, кВт	2000	1250
Напряжение, В	10 000	10 000
Ток статора, А	135	102
Частота вращения, об/мин	750	750
КПД, %	95,7	93,7
cos φ (опережающий)	0,9	0,75
Кратность максимального момента	2,5	3,8
Кратность пускового момента	2	3,2
Кратность пускового тока	6,5	8,6

Возбуждение двигателей — от тиристорного возбудителя типа ТВ300Р-У4.

8.6.8. Синхронные явнополусные двигатели серии ДСЗ для привода преобразовательных агрегатов

Двигатели серии ДСЗ (табл. 8.26) имеют закрытое исполнение с самовентиляцией по замкнутому циклу через воздухоохладители, которые устанавливаются в фундаментной яме степень защиты IP43. Конструктивная форма исполнения — IM7316. Конструкция двигателей позволяет сдвигать статор на полную длину ротора для профилактических осмотров и ремонта, включая замену элементов обмотки статора и ротора без разборки двигателей.

Возбуждение двигателей — от тиристорного возбудительного устройства. Обмотка ротора обеспечивает 6-кратную форсировку возбуждения по напряжению, при этом кратность напряжения форсировки определяется относительно напряжения холостого хода.

Двигатели рассчитаны на длительную работу в режимах компенсации бросков реактивной мощности, создаваемых вентиляционными электроприводами.

Габаритные размеры двигателя ДСЗ-21-168-16 приведены на рис. 8.12.

Таблица 8.26. Технические данные синхронных двигателей серии ДСЗ (частота вращения 375 об/мин, cos φ = 0,9)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, кВ	Ток статора, А	КПД, %	Ток возбуждения, А	Напряжение возбуждения, В	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$	Масса, кг
ДСЗ-21-74-16МУХЛ4	12 500	6	1378	97,3	904	106	1,9	0,9	4,5	78 450
	13 300	10	880	97,3	738	107	1,9	1	5,4	91 700
ДСЗ-21-104-16МУХЛ4	17 500	6	1925	97,4	893	130	1,9	0,9	4,5	93 450
ДСЗ-21-125-16МУХЛ4	17 500	10	1156	97,5	809	132	2,0	1	5,7	113 250
ДСЗ-21-168-16МУХЛ4	22 000	10	1450	97,6	790	158	2,2	1,2	6,7	135 000

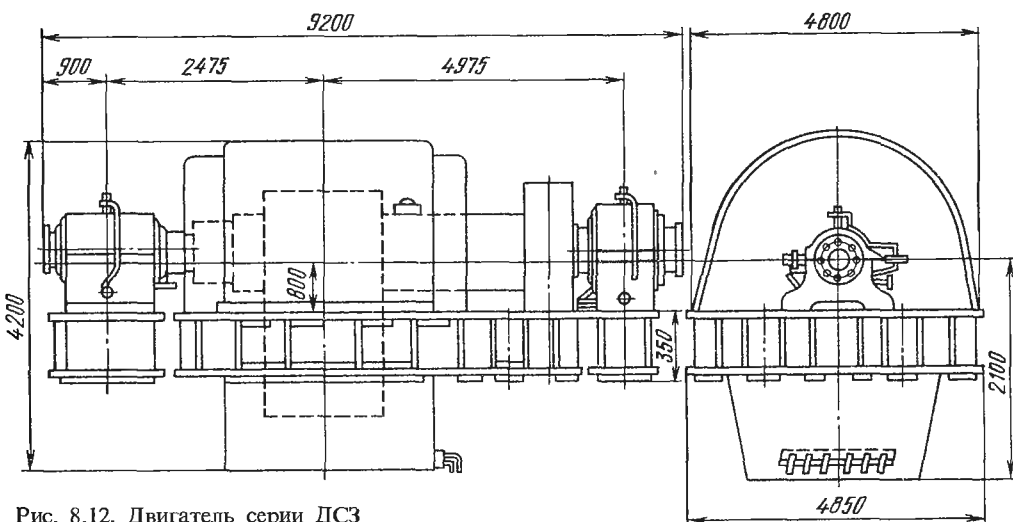


Рис. 8.12. Двигатель серии ДСЗ

8.6.9. Синхронные явнополюсные вертикальные двигатели серии ВДС для привода насосов

На крупных оросительных системах и магистральных каналах используются насосные агрегаты, состоящие из вертикальных осевых или центробежных насосов и приводных синхронных двигателей, при этом агрегаты с осевыми насосами предназначены для подачи воды до $40 \text{ м}^3/\text{с}$ при напорах до 25 м, а с центробежными — до $16 \text{ м}^3/\text{с}$ и напорах до 65 м.

Синхронные двигатели выпускают в двух сериях: ВДС2-325 (табл. 8.27) с внешним диаметром сердечника статора 3250 мм и ВДС-325, ВДС-375 и ВДС-425 (табл. 8.28) с внешним диаметром сердечника статора соответственно 3250, 3750 и 4250 мм.

Электродвигатели выполняют в подвешенном исполнении, с подпятником, расположенным в ванне верхней крестовины, с двумя направляющими подшипниками и фланцевым концом вала для жесткого соединения с фланцем вала насоса (рис. 8.13). Система вентиляции машин — замкнутая с циркуляцией воздуха благодаря напору, создаваемому полюсами, распорками в радиальных каналах остова ротора и центробежными вентиляторами, прикрепленными к торцам остова. Циркулирующий воздух охлаждается четырьмя или шестью воздухоохладителями, которые крепятся к обшивке статора. Для обеспечения замкнутой системы вентиляции двигатели устанавливают в закрытую камеру, выполненную в фундаменте, ниже пола

машинного зала. В верхней части камеру закрывают перекрытием из рифленой листовой стали, а в нижней — перекрытием, расположенным выше уровня фланца вала. К корпусу статора с обеих сторон прикреплены воздухоразделяющие щиты, направляющие поток охлаждающего воздуха внутрь двигателя.

Корпус статора имеет круглую форму, и при внешнем диаметре сердечника до 3750 мм его выполняют неразъемным. На верхнюю часть корпуса устанавливают грузонесущую крестовину.

Обмотку статора двигателей мощностью 8000—12 500 кВт выполняют из катушек с термореактивной изоляцией. В зоне головок между витками во избежание их склейки устанавливают фторопластовые прокладки толщиной 1—2 мм.

Обмотку возбуждения изготовляют из меди профиля «топорик».

Полюсы ротора выполняют шихтованными и крепят к ободу Т-образными хвостовиками. В полюсных башмаках размещены стержни демпферной обмотки. Короткозамыкающие сегменты обмотки имеют кольцевые проточки, которыми они крепятся за выступающие опорные выступы шек полюсов.

Концы сегментов соединяют между собой медными контактными планками с серебряным покрытием.

Валы двигателей выполняют со сквозным центральным отверстием для размещения труб привода разворота лопастей насоса. В двигателях мощностью 10 000 кВт

Таблица 8.27. Технические данные двигателей серии ВДС2-325 ($\cos \varphi = 0,9$)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, кВ	Частота вращения, об/мин	КПД, %	$\frac{I_n}{I_{ном}}$	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{M_{s=0,05}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Ток возбуждения, А	Напряжение возбуждения, В	Тип возбудителя	Масса, 10 ³ кг			Нагрузка на подпятник, кН
												ротора	статора	общая	
ВДС2-325/44-16	5000	6	375	95,3	5,5	0,4	1,4	1,8	320	130	ТВ 630-Р	13,5	16,7	46,7	650
ВДС2-325/49-16	5000	10	375	95,2	4,5	0,35	1,3	1,9	360	125	ТВ 630-Р	13,6	17,6	47,2	700
ВДС2-325/69-16	8000	10	375	95,9	4,8	0,32	1,2	1,8	400	120	ТВ 630-Р	17,5	22,7	58,3	1250
ВДС2-325/44-18	5000	6	333	95,2	4,5	0,35	1,5	1,7	350	125	ТВ 630-Р	13	18,5	47,8	650
ВДС2-325/49-18	5000	10	333	95	4,8	0,5	1,4	1,9	340	130	ТВ 400-Р	15,3	22	52,7	700
ВДС2-325/44-20	4000	6	300	95,5	5,6	0,4	1,5	2	380	100	ТВ 630-Р	13,6	18	48,5	660
ВДС2-325/64-20	6300	10	300	95,7	5,5	0,35	1,4	1,9	525	110	ТВ 630-Р	18,5	25	58	565(795)*
ВДС2-325/59-24	5000	6	250	95,5	5,5	0,7	1,2	2,1	360	140	ТВ 630-Р	15	20,5	51,4	650

* Кратковременно.

Таблица 8.28. Технические данные двигателей серии ВДС-375 (напряжение 10 кВ, $\cos \varphi = 0,9$)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	КПД, %	$\frac{I_n}{I_{ном}}$	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{M_{s=0,05}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Ток возбуждения, А	Напряжение возбуждения, В	Масса, 10 ³ кг			Нагрузка на подпятник, кН
										ротора	статора	общая	
ВДС-375/89-24	10000	250	96,3	5,5	0,4	1,3	2,2	590	135	42	28	100	800(1450)
ВДС-375/105-24	12500	250	96,7	5,5	0,4	1,4	2	600	160	49,5	31	117	1750(2300)
ВДС-375/125-24	16000	250	96,9	5,2	0,6	1,4	2,2	590	200	54	35	125	1750(2300)
ВДС-375/89-28	8000	250	96,1	4,7	0,35	1,37	2	510	150	40	28	102	800(1450)
ВДС-375/105-28	10000	214	96,2	5,1	0,35	1,4	2,1	490	190	48	31	115	800(1450)
ВДС-375/125-28	12500	214	96,7	5,1	0,45	1,2	2	560	190	53	35	124	1200(2300)
ВДС-375/89-32	8000	187	95,6	5,5	0,4	1,2	2,4	600	190	39	28	104	1450(1850)
ВДС-375/105-32	10000	187	95,8	5,5	0,4	1,4	3	600	250	45	31	112	1450(1850)

Примечания: 1. Тип возбудителя ТВ630-Р.

2. В скобках указана кратковременно допустимая нагрузка на подпятник.

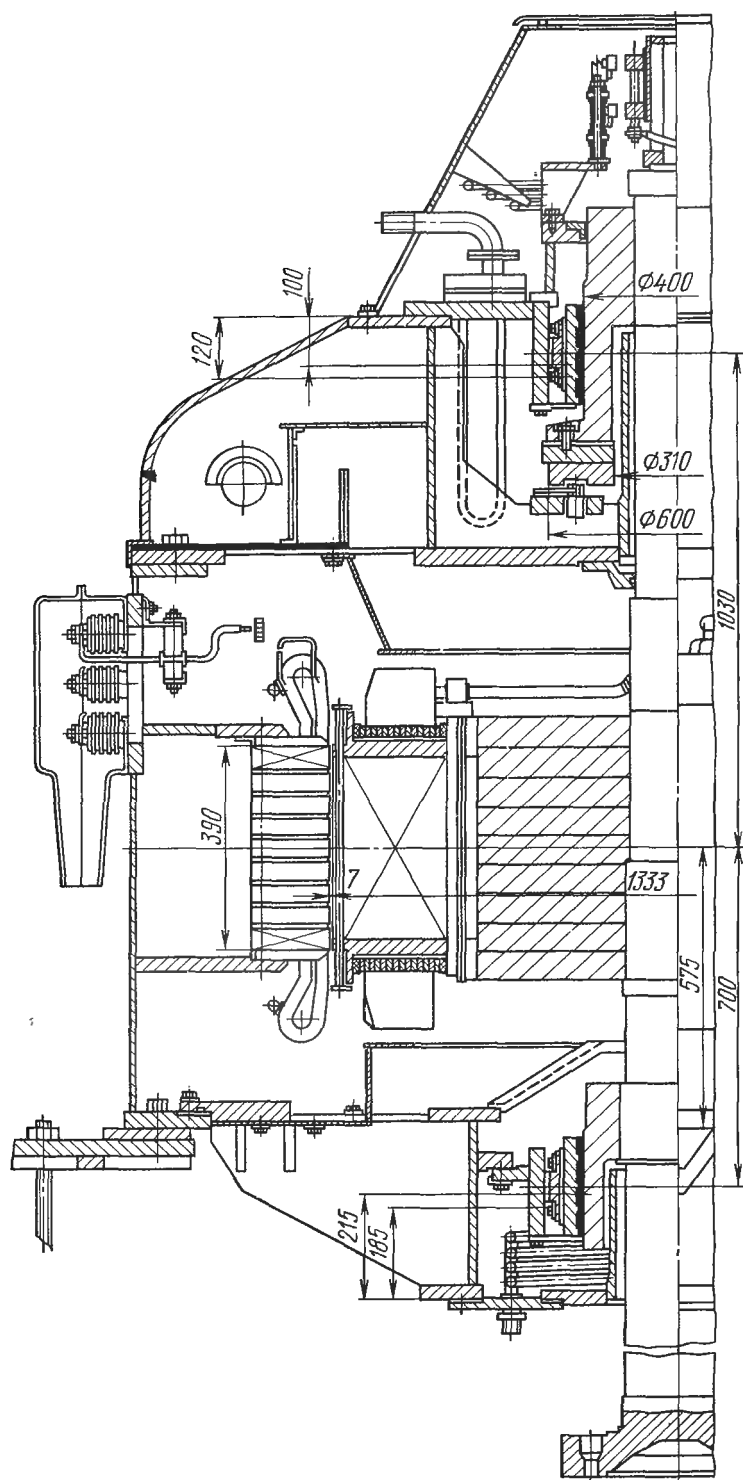


Рис. 8.13. Вертикальный двигатель серии ВДС

и более отверстие используют также для сборки колеса насоса.

Верхняя грузонесущая крестовина — лучевого типа с четырьмя или шестью опорными лапами в зависимости от осевой нагрузки на подпятник. Центральная часть крестовины является масляной ванной, в ней расположены опорный подпятник, верхний направляющий подшипник и водяные маслоохладители.

В ванну крестовины устанавливают направляющий подшипник. На верхнем фланце крестовины установлен колпак, который закрывает контактные кольца и одновременно предназначен для крепления гидропривода разворота лопастей осевых насосов.

Нижняя крестовина двигателей состоит из центральной масляной ванны и приваренных к ней четырех или шести радиальных лап, которыми она крепится к фундаментным плитам. В ванне крестовины размещены направляющий подшипник, унифицированный с подшипником верхней крестовины, и маслоохладители. На верхней части лап крестовины имеются площадки, на которые устанавливаются гидравлические домкраты для подъема ротора во время монтажа или ремонта.

Пусковой момент двигателей составляет $(0,35 \div 0,4) M_{\text{ном}}$, а момент при скольжении $s = 0,05$ — не менее $1,3 M_{\text{ном}}$. При этом пусковой ток в двигателях мощностью до 12 500 кВт не превышает $5,5 I_{\text{ном}}$. Все двигатели допускают прямой пуск от сети. Для обеспечения синхронизации при пуске на подсинхронной частоте вращения используется форсировка возбуждения. Двигатели серии рассчитаны на 200 пусков в год. Двигатели по условиям нагрева демпферной обмотки допускают два пуска подряд из холодного состояния и последующий (третий) пуск, если двигатель не вошел в синхронизм, примерно через 1 ч. Допускается повторное включение двигателей до остановки насосного агрегата, т. е. в процессе выбега ротора, когда направление вращения остается таким же, как и при нормальной работе.

Перед пуском двигателей включают подачу воды в воздухо- и маслоохладители крестовин для нормального режима работы. В зимнее время обеспечивают подогрев масла до $15-20^\circ\text{C}$, а подачу воды осуществляют после предварительного прогрева двигателя в течение 30—40 мин. Во время пуска контролируют последовательность операций пуска, включение возбуждения после снижения пускового тока, включение форсировки возбуждения и отсутствие длительных пульсаций тока статора после по-

дачи возбуждения на обмотку ротора. У агрегатов с осевыми насосами лопасти устанавливают таким образом, чтобы нагрузка насоса была минимальной. После пуска двигателя контролируют температурный режим машины, уровень вибраций статора, верхней крестовины, а также ванны нижней крестовины (двойная амплитуда должна быть не более 0,1 мм).

При отключении от сети роторы двигателей рассчитаны на вращение в обратную сторону с угонной частотой вращения, составляющей $1,5-1,8 n_{\text{ном}}$, где $n_{\text{ном}}$ — номинальная частота вращения.

Подпятники двигателей рассчитаны на кратковременную перегрузку на 30—60% при пуске с центробежными насосами.

Система возбуждения двигателей состоит из следующих основных узлов: тиристорного преобразователя (как правило, трехфазного мостового), выпрямительного трансформатора, системы управления тиристорным преобразователем, системы защиты тиристоров от перенапряжений, нелинейных или линейных резисторов и релейной схемы пуска. Регулирование тока возбуждения осуществляется изменением угла управления тиристоров. При пуске двигателей на подсинхронной скорости тиристоры отпираются с углом, соответствующим максимальному напряжению возбуждения. Длительность форсировки при этом — около 1 с.

Тиристорный возбудитель управляет пуском и остановом двигателя. При пуске, когда в обмотке ротора индуцируется переменная ЭДС, обмотка включается на резистор. При постоянно включенном резисторе он осуществляет также защиту тиристоров при переходных режимах. При пуске тиристорный преобразователь запирается, а обмотка возбуждения включается на разрядный резистор через тиристорный ключ, который представляет собой два встречно-параллельно включенных тиристора. К концу пуска, когда напряжение на обмотке ротора падает, включается тиристорный преобразователь, а тиристоры ключа запираются. Управление тиристорным ключом производится стабилизатором.

Гашение поля ротора осуществляют путем перевода тиристорных возбудителей ТВ400-Р и ТВ630-Р из выпрямительного в инверторный режим при отключении двигателя от сети. В возбудителях предусмотрена также защита двигателя от асинхронного режима. При выпадении из синхронизма дается сигнал во внешнюю цепь, автоматически происходит инвертирование и возбудитель переходит в исходное предпусковое со-

стояние. Гашение поля при замкнутой обмотке статора длится около 0,5 с.

8.6.10. Система возбуждения явнополюсных синхронных двигателей

Для возбуждения синхронных двигателей используется система возбуждения типа ТЕ8-320/хТ-5*4, где принято обозначение: Т — тиристорный; Е — естественное охлаждение; 8 — класс перегрузки; 320 — номинальный выпрямленный ток, А; х — номинальное выпрямленное напряжение (48, 75, 115, 150 и 230 В); Т — питание от трансформатора; 5 — номер модификации; * — климатическое исполнение (УХЛ или О) и 4 — категория размещения.

Ниже приведены технические данные некоторых возбудителей.

ТЕ8-320/115Т-5 ТЕ8-320/230Т-5

Номинальный выпрямленный ток, А	320	320
Номинальное выпрямленное напряжение, В	115	230
Номинальная мощность, кВт	36,8	73,7
Максимальное выпрямленное напряжение при номинальном напряжении сети, В	200	400
Схема выпрямления	Трехфазная с нулевым выводом	Трехфазная мостовая
КПД, %	93,7	95,2
Коэффициент мощности	0,42	0,48
Пусковое сопротивление, Ом	0,73	1,46
Масса, кг	335	405

Тиристорный преобразователь выполнен по схеме трехфазного выпрямителя и состоит из трех или шести тириستоров типа Т-500, защищенных РС-цепочками. Питание преобразователя осуществляется от сети переменного тока напряжением 380 В, 50 Гц через согласующий трансформатор. Данные трансформаторов следующие:

Типы систем возбуждения	ТЕ8-320/115Т-5	ТЕ8-320/230Т-5
Расчетная мощность, кВт · А	112,3	158,9
Вторичное напряжение, В	350	350

Параллельно обмотке возбуждения двигателя через тиристорный ключ подключается пусковое сопротивление.

Функции управления и защиты осуществляет система управления, в состав которой входят: блоки питания и синхронизации, фазоимпульсное устройство для управления тиристорами с диапазоном угла управления преобразователя 0—170°, схемы пуска, форсировки, ограничения тока ротора защиты от затянувшегося пуска и исчезновения тока возбуждения, от тока короткого замыкания и автоматический регулятор возбуждения.

Синхронизирующее напряжение поступает в фазоимпульсное устройство из блока питания и по фазе совпадает (со сдвигом на 30°) с вторичным напряжением трансформатора.

Конструктивно возбудитель выполнен в виде шкафа размерами 1900 × 800 × 800.

8.6.11. Синхронные неявнополюсные двигатели серий СТД и ТДС

Двигатели серий СТД и ТДС (табл. 8.29) используют для электроприводов нефтяных насосов и газовых компрессоров на компрессорных станциях магистральных нефте- и газопроводов, для газовых компрессоров химических производств, водяных насосов для поддержания пластового давления при добыче нефти, а также для других приводов.

Двигатели выпускают с замкнутым и разомкнутым циклами вентиляции, на фундаментных плитах с двумя стояковыми подшипниками и одним рабочим концом вала, с приводимым механизмом соединяют посредством муфты. Направление вращения двигателей — левое (против часовой стрелки, если смотреть со стороны приводимого механизма).

В двигателях применен ступенчатый пакет сердечника статора, что позволяет увеличить при заданных габаритах сечение ярма и одновременно повысить интенсивность охлаждения за счет установки дополнительных «беззубцовых» сегментов в зоне спинки статора и обеспечения практически одинакового сечения радиального вентиляционного канала в зубцовой зоне и зоне спинки.

Обмотка статора — катушечного или стержневого типа трехфазная, двухслойная с термореактивной изоляцией «моноклит-2», с допустимой температурой нагрева 120°С. Температуру обмотки измеряют термометрами сопротивления, заложенными в пазы статора.

Двигатели выполняют с массивной боч-

Таблица 8.29. Технические данные двигателей серии СТД (турбодвигателей) общего назначения

Типоразмер двигателя	Мощность активная, кВт	Мощность полная, кВт·А	КПД, % при напряжении, кВ		Масса, т		Габаритные размеры, мм (длина × ширина × высота)	
			6	10	Замкнутый цикл вентиляции	Разомкнутый цикл вентиляции	Замкнутый цикл вентиляции	Разомкнутый цикл вентиляции
СТД-630-2УХЛ4	630	735	95,8	95,6	4,96	4,25	2720 × 1840 × 1070	2720 × 1130 × 1020
СТД-800-2УХЛ4	800	935	96,0	95,8	5,13	4,45	2770 × 1840 × 1070	2770 × 1130 × 1020
СТД-1000-2УХЛ4	1000	1160	96,3	96	5,56	5	2910 × 1840 × 1070	2910 × 1130 × 1020
СТД-1000-2ЗУ5	1000	1160	96,3	96	5,56	—	2910 × 1840 × 1070	—
СТД-1250-2УХЛ4	1250	1450	96,8	96,5	6,98	6,49	3050 × 1990 × 1240	3050 × 1380 × 1220
СТД-1600-2УХЛ4	1600	1850	96,9	96,6	7,58	6,7	3150 × 1990 × 1240	3150 × 1380 × 1220
СТД-1600-2ЗУ5	1600	1850	96,9	96,6	7,58	—	3150 × 1990 × 1240	—
СТД-2000-2УХЛ4	2000	2300	96,9	96,8	7,88	7	3245 × 1990 × 1240	3255 × 1380 × 1220
СТД-2500-2УХЛ4	2500	2870	97,2	97	11,1	10	3530 × 2220 × 1360	3530 × 1560 × 1350
СТД-3150-2УХЛ4	3150	3680	97,3	97,2	12,3	11,06	3680 × 2220 × 1360	3690 × 1560 × 1350
СТД-4000-2УХЛ4	4000	4580	97,5	97,4	12,92	11,58	3780 × 2220 × 1360	3780 × 1560 × 1350
СТД-5000-2УХЛ4	5000	5740	97,6	97,5	14,7	13,7	3780 × 2220 × 1360	4030 × 1560 × 1350
СТД-6300-2УХЛ4	6300	7240	97,6	97,5	31,3	—	4495 × 2630 × 1615	—
СТД-8000-2УХЛ4	8000	9130	97,9	97,7	23,95	—	4735 × 2630 × 1715	—
СТД-10000-2УХЛ4	10000	11400	97,8	97,9	26,52	—	5185 × 2630 × 1715	—
СТД-12500-2УХЛ4	12 500	14 200	97,9	97,8	29,5	—	5485 × 2630 × 1715	—
ТДС-20000-2УХЛ4	20 000	22 650	—	97,6	57,1	—	6030 × 2650 × 3270	—
ТДС-31500-2УХЛ4	31 500	35 800	—	98	82,9	—	7260 × 3400 × 3645	—

кой ротора. В бочке ротора выфрезерованы пазы, в которые уложена обмотка возбуждения. Изоляция обмотки возбуждения — класса нагревостойкости В, с допустимой температурой (измеренной методом сопротивления) 130 °С. Лобовые части обмотки возбуждения защищены немагнитными роторными бандажами, имеющими горячую посадку на центрирующие кольца. Балансировка роторов — динамическая.

Циркуляция охлаждающего воздуха в двигателе осуществляется посредством внутренних вентиляторов, укрепленных по обеим сторонам бочки ротора. Вентиляторы выполнены с вращающимся направляющим аппаратом, обеспечивающим безударный вход воздуха, что позволило повысить КПД и уменьшить внешние размеры.

Для замкнутого цикла охлаждения разработаны и освоены водяные воздухоохладители с биметаллическими трубками и особым профилем оребрения, обеспечивающим высокие коэффициенты теплопередачи от трубок к воздуху. Для увеличения теплоотдачи с ротора его поверхность имеет продольно-поперечное рифление.

Подшипники двигателя — скользящие с принудительной смазкой под давлением. Подшипник со стороны возбудителя изолирован от фундаментной плиты и маслопроводов.

Температуру активных частей машины, подшипников, охлаждающей среды и воды контролируют ртутными термометрами и термометрами сопротивления согласно схемам теплоконтроля на каждый тип двигателя.

8.6.12. Синхронные неявнополюсные двигатели серии СТДП

Синхронные турбодвигатели серии СТДП (табл. 8.30), продуваемые под избыточным давлением, выпускаются на мощности 1250—5000 кВт (рис. 8.14) и предназначены для привода насосов и компрессоров во взрывоопасных помещениях всех классов.

Охлаждение воздуха осуществляется двумя секциями встроенных водяных воздухоохладителей. Перед пуском двигатель и возбудитель продувают чистым воздухом, при этом количество продуваемого чистого воздуха обычно должно составлять не менее 5-кратного объема двигателя и возбудителя. Для предпусковой продувки используют двухэлементный пневмомеханический клапан, который размещают в верхней части корпуса статора.

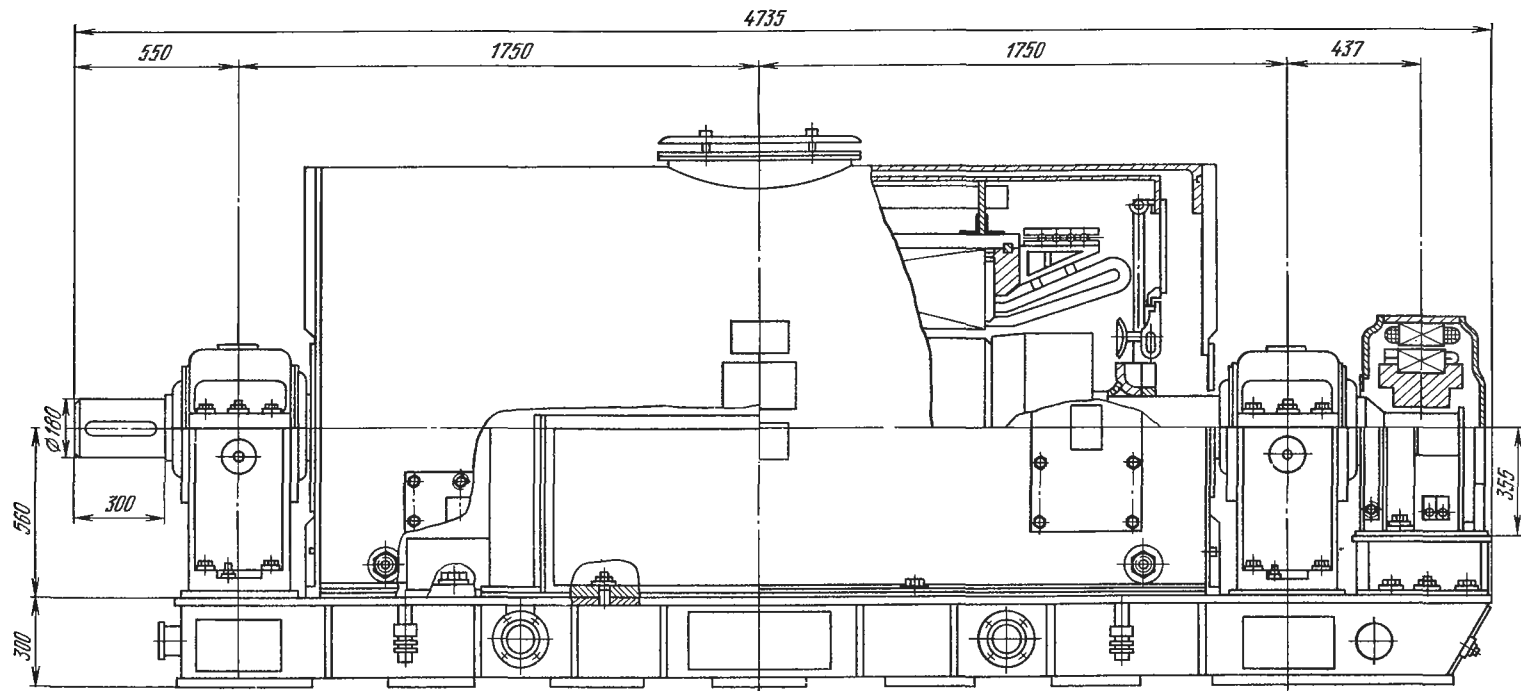


Рис. 8.14. Двигатель серии СТДП-8000-2

Таблица 8.30. Технические данные взрывозащищенных двигателей серии СТДП (напряжение 6 или 10 кВ)

Типоразмер двигателя	Мощность активная, кВт	Мощность полная, кВт·А	КПД, % при напряжении, кВ		Масса, 10 ³ кг	Габаритные размеры, мм (длина × ширина × высота)
			6	10		
СТДП-1250-2УХЛ4	1250	1450	96,5	96,2	7,03	3050 × 2010 × 1350
СТДП-1600-2УХЛ4	1600	1850	96,7	96,6	7,63	3150 × 2010 × 1350
СТДП-2000-2УХЛ4	2000	2300	96,7	96,6	8,03	3255 × 2010 × 1350
СТДП-2500-2УХЛ4	2500	2870	96,8	96,6	11,15	3535 × 2220 × 1450
СТДП-3150-2УХЛ4	3150	3680	97,1	96,8	12,35	3685 × 2220 × 1450
СТДП-4000-2УХЛ4	4000	4560	97,2	96,9	12,97	3785 × 2220 × 1450
СТДП-5000-2УХЛ4	5000	5740	97,3	97,2	14,75	4035 × 2220 × 1450
СТДП-6300-2УХЛ4	6300	7230	97,4	97,4	21,6	4490 × 2630 × 1815
СТДП-8000-2УХЛ4	8000	9130	97,6	97,6	23	4735 × 2630 × 1815
СТДП-10000-2УХЛ4	10000	11400	97,6	97,7	27	5185 × 2630 × 1815
СТДП-12500-2УХЛ4	12500	14200	97,7	97,7	29,5	5485 × 2630 × 1815

Примечания: 1. Масса двигателей дана без учета массы возбудительных устройств.

2. Возбуждение двигателей осуществляется от бесщеточных возбудительных устройств серии БВУП.

8.6.13. Пуск синхронных неявнополюсных двигателей

Двигатели типов СТД и СТДП предназначены для непосредственного асинхронного пуска от сети. Обычно разрешается два пуска подряд из холодного или один пуск из горячего состояния.

Пуск двигателей, предназначенных для механизмов, имеющих большие моменты инерции, должен производиться от пониженного напряжения сети. Значения допустимых моментов инерции при одном пуске из холодного состояния двигателей от пониженного напряжения сети, равного 0,8; 0,65; 0,5 номинального, должны соответствовать указанному в табл. 8.31 (моменты инерции и времени пуска приведены для вентиляторной нагрузки).

При пуске и останове двигателей с возбуждением от тиристорных преобразовательных устройств применяют пусковые гасительные резисторы со следующими параметрами: сопротивление 1,8 Ом, допустимый ток 580 А, допустимое время включения 20 с.

Расчетные пусковые характеристики двигателей при номинальном напряжении приведены в табл. 8.32.

Пуск двигателей типа СТД осуществляется от пускового тиристорного устройства. Для подключения пускового устройства в обмотке статора предусмотрены три вывода от отпаек обмотки статора, соответствующих напряжению, равному 30% номинального.

Таблица 8.31. Значения допустимых моментов инерции и времен пуска

Типоразмер двигателя	Напряжение пусковое в долях номинального					
	0,8	0,65	0,5	0,8	0,65	0,5
	Допустимый момент инерции, приведенный к валу двигателя, 10 ³ кг·м ²			Допустимое время пуска, с		
СТД-6300-2	1,74	2,05	2,33	9,2	15,7	29
СТД-8000-2	1,89	2,12	2,37	7,3	12	24
СТД-10000-2	2,34	2,75	2,05	6,1	10,4	19
СТД-120000-2	2,5	2,86	3,5	5	8,3	16,2

Таблица 8.32. Расчетные пусковые характеристики двигателей

Типоразмер двигателя	Скольжение								
	1,00	0,80	0,60	0,50	0,40	0,20	0,10	0,05	0,02
СТД-6300-2	6,28	6,09	5,81	5,69	5,36	4,35	3,31	2,35	1,43
	1,62	1,73	1,86	1,93	1,99	2,22	1,99	1,55	0,94
СТД-8000-2	6,93	6,72	6,42	6,20	5,92	4,81	3,65	2,59	1,55
	1,76	1,89	2,05	2,13	2,21	2,47	2,23	1,74	1,06
СТД-10000-2	8,10	7,86	7,50	7,24	6,90	5,60	4,21	2,94	1,72
	2,06	2,24	2,44	2,55	2,65	2,97	2,65	2,05	1,23
СТД-12500-2	8,86	8,60	8,21	7,93	6,56	6,14	4,59	3,20	1,85
	2,24	2,43	2,67	2,80	2,92	3,27	2,94	2,26	1,35

Примечание: В числителе указаны значения $I_{\Pi}/I_{\text{ном}}$, в знаменателе — $M_{\Pi}/M_{\text{ном}}$.

8.6.14. Системы возбуждения неявнополюсных синхронных двигателей

Для питания обмотки возбуждения синхронных двигателей типа СТД применяют тиристорные возбудители серии ВТЕ-320-6 с естественным воздушным охлаждением вентилей, номинальным постоянным током 320 А, номинальным постоянным напряжением 115 или 230 В. Возбудители подключают к сети через трансформатор.

Технические данные некоторых возбудителей приведены ниже.

ВТЕ-320/115Т-6 ВТЕ-320/230Т-6

Номинальный ток, А . . .	320	320
Номинальное напряжение, В	115	230
Максимальное напряжение при номинальном напряжении питающей сети, В . .	260	520
Схема выпрямления	Трехфазная с нулевым выводом	Трехфазная мостовая
КПД, % . .	92,2	92,8
Коэффициент мощности	0,32	0,37

Тиристорный преобразователь выполнен на тиристорах типа Т-500. Питание преобразователя осуществляется от сети переменного тока через согласующий силовой трансформатор. Основные данные трансформаторов:

Тип возбудителя . ВТЕ-320/115Т-6 ВТЕ-320/230Т-6

Номинальная мощность, кВт · А . . . 138 195

Номинальное линейное вторичное напряжение, В 430 430

Номинальный ток, А 185 262

Схема соединений . У/У_н

Напряжение короткого замыкания, % . . 3,7 5,2

Потери, кВт: холостого хода 0,96 0,96
короткого замыкания . . 1,63 3,73

Параллельно обмотке возбуждения двигателя через тиристорный ключ подключается пусковой резистор, сопротивление которого 0,533 Ом для ВТЕ-320/115Т-6УХЛ4, УЗ и 1,28 Ом для ВТЕ-320/230Т-6УХЛ4, УЗ. Управление тиристорами преобразователя осуществляется импульсами, поступающими из фазоимпульсных каналов. В системе возбуждения имеются блоки синхронизации, форсировки возбуждения, защиты от короткого замыкания, минимального тока возбуждения, перегрузки и затянувшегося пуска. Схема пуска осуществляет автоматическую

подачу возбуждения при пуске двигателя. Система выполнена в виде шкафа с размерами 2262 × 800 × 800 мм.. Масса возбудителя ВТЕ-320/115Т-6 — 445 кг, ВТЕ-320/230Т-6 — 500 кг.

8.7. Особенности испытаний синхронных машин

8.7.1. Испытания на стенде завода-изготовителя

На стенде завода-изготовителя производят прямо-сдаточные испытания каждой машины и приемочные головных (опытных) машин.

По действующим стандартам (ГОСТ 183-74, ГОСТ 533-85, ГОСТ 5616-81, ГОСТ 609-84) прямо-сдаточные испытания каждой машины включают: измерения сопротивлений изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками, изоляции заложенных температурных преобразователей, обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии, термометров сопротивления при постоянном токе в практически холодном состоянии; испытание изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками на электрическую прочность; определение характеристики установившейся замыкания (для гидрогенераторов на месте установки), холостого хода (для гидрогенераторов на месте установки); испытания при повышенной частоте вращения (для турбогенераторов); измерение сопротивления изоляции подшипников, температуры масла в подшипниках (для гидрогенераторов на месте установки); проверку состояния уплотнений вала в сборе и определение утечки воздуха при избыточном давлении не менее номинального давления водорода (для машин с водородным охлаждением).

В приемочные испытания головных (опытных) образцов (для гидрогенераторов на месте установки) дополнительно включают: испытания на кратковременную перегрузку по току; определение КПД; испытание на нагревание; определение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, индуктивных сопротивлений и постоянных времени обмоток; испытание при ударном токе короткого замыкания, на нагрев; определение вибраций, номинального тока возбуждения и регулировочной характеристики; измерение уровня шума; проверку работы газо-масляной системы водородного охлаждения и определение утечки водорода (для машин с водородным охла-

ждением); проверку системы жидкостного охлаждения (для машин с жидкостным охлаждением).

В соответствии с действующими стандартами выполнение части приемочных испытаний возможно на месте установки машин.

Измерение сопротивления изоляции обмотки статора относительно корпуса машины и между обмотками производят с помощью мегаомметра не менее чем на 1000 В в практически холодном состоянии, при котором за температуру обмотки принимают температуру окружающей среды.

При измерении сопротивления изоляции обмоток генераторов с непосредственным водяным охлаждением вывод экрана мегаомметра соединяют с водяным коллектором, от которого отсоединяют внешнюю водяную систему. Сопротивление изоляции определяют поочередно для каждой ветви обмотки статора, при этом другие ветви соединяют с корпусом машины. При определении абсолютного значения сопротивления изоляции измерения проводят не менее чем через 60 с после приложения напряжения к изоляции. После измерения сопротивления изоляцию отдельных частей обмотки разряжают на корпус генератора.

Измерение сопротивления обмоток при постоянном токе проводят в практически холодном состоянии до начала сушки генератора методом вольтметра и амперметра, при этом используют магнитоэлектрические приборы класса точности не ниже 0,5. Отсчеты по приборам производят одновременно при установившихся значениях определяемых величин. Сопротивления обмоток находят как среднее значение по данным не менее трех измерений, которые проводят при различных значениях тока. Точность измерений в большей мере зависит от качества контактов в местах присоединения измерительных приборов, при этом присоединение вольтметра рекомендуется производить отдельно от токовых цепей.

Измерение сопротивления термометров сопротивления при постоянном токе проводят при температуре окружающей среды методом вольтметра и амперметра с погрешностью измерения сопротивления не выше 0,5%. Измерения рекомендуется проводить непосредственно на сборке выводов.

Испытание (напряжением частотой 50 Гц) изоляции обмотки статора на электрическую прочность производят испытательным напряжением, кВ,

$$U_{\text{исп}} = 2U_{\phi} + 1,$$

где U_{ϕ} — номинальное фазное напряжение.

Испытание проводят для каждой из фаз по отношению к корпусу и двум другим заземленным фазам. Для генераторов с водяным охлаждением обмотки статора испытание изоляции выполняют при циркуляции дистиллята. Для испытания рекомендуется применять испытательные трансформаторы, мощность которых не менее 1 кВ·А на 1 кВ напряжения.

Испытательное напряжение измеряют на стороне высшего напряжения испытательного трансформатора через измерительный трансформатор напряжения. Для машин с номинальным напряжением 13,8 кВ и выше на стороне высшего напряжения испытательного трансформатора рекомендуется включать защитный разрядник, который настраивается на напряжение, равное 110% испытательного.

Согласно ГОСТ 11828-75 испытание рекомендуется начинать с напряжения не выше $\frac{1}{3}$ испытательного, при этом время, в течение которого производится подъем напряжения от половинного значения до полного, должно быть не менее 10 с.

Испытание выпрямленным напряжением изоляции каждой фазы обмотки статора по отношению к корпусу и двум другим заземленным фазам в машинах с косвенным охлаждением производят напряжением, равным 1,6 испытательного напряжения частотой 50 Гц.

Испытательное напряжение в этих испытаниях согласно ГОСТ 11828-75 выдерживают в течение 1 мин, подъем напряжения производят не менее чем тремя ступенями, начиная с половинного испытательного напряжения. На каждой из ступеней измеряют ток утечки при установившихся показаниях приборов. После испытания измеряют сопротивление изоляции мегаомметром.

Испытание междувитковой изоляции катушечной обмотки статора проводят напряжением, равным 150% номинального, в течение 5 мин, стержневой обмотки — в течение 1 мин.

Характеристика холостого хода представляет собой зависимость напряжения обмотки статора от тока возбуждения при номинальной частоте вращения. Рекомендуется производить измерение напряжения приборами классом точности не ниже 0,5, при этом могут быть использованы эксплуатационные трансформаторы напряжения. Измерение тока возбуждения можно производить также приборами класса точности 0,5 с применением шунтов класса 0,1 или 0,2. Во время определения характеристики контро-

лируют частоту вращения гидрогенератора.

Предварительно напряжение машины увеличивают до 130% номинального. Характеристику снимают при плавном уменьшении тока возбуждения до нуля. При токе возбуждения, равном нулю, определяют остаточное напряжение.

У генераторов, работающих в блоке с трансформатором, снимается также характеристика холостого хода блока.

Одновременно со снятием характеристики холостого хода определяется симметрия напряжения, которая находится по отношению разности наибольшего и наименьшего измеренных линейных напряжений к среднему его значению.

Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения находят по амплитудам отдельных гармонических составляющих кривой напряжения, определенным при номинальном напряжении при холостом ходе генератора. Амплитуды гармонических составляющих измеряют, как правило, с помощью анализатора гармонических составляющих. При известных амплитудах коэффициент искажения находят по формуле

$$k = \frac{1}{A_1} \sqrt{\sum_i A_i^2 - A_1^2},$$

где A_1 , A_i — амплитуды первой и i -й гармонических.

Характеристика установившегося короткого замыкания представляет собой зависимость тока в обмотке статора от тока возбуждения генератора при трехфазном коротком замыкании. При снятии характеристики измеряют токи в каждой фазе обмотки статора и ток возбуждения. Снятие характеристики производят при плавном подъеме тока статора до номинального значения. Для генераторов, работающих в блоке с трансформатором, характеристику короткого замыкания снимают для замкнутого накоротко трансформатора.

При приемосдаточных испытаниях, как правило, определяют лишь основные параметры: отношение короткого замыкания (ОКЗ), реактивную Потю x_p , синхронное индуктивное сопротивление x_d , сверхпереходные индуктивные сопротивления x_d'' и x_d' , переходное индуктивное сопротивление x_d' , индуктивное сопротивление обратного следования фаз x_2 , постоянную времени при разомкнутой T_{d0} и замкнутой накоротко T_d' обмотках статора.

Отношение короткого замыкания находят по характеристикам холостого хода и короткого замыкания как отношение номинального тока статора к установившемуся

току короткого замыкания при возбуждении, соответствующем номинальному напряжению по характеристике холостого хода.

Индуктивное сопротивление x_d также находят по характеристикам холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ) как частное от деления напряжения холостого хода, определенного по спрямленной характеристике холостого хода при некотором возбуждении, на ток короткого замыкания при том же токе возбуждения I_B (рис. 8.15).

Реактивное сопротивление x_p находят по характеристикам холостого хода, короткого замыкания и расчетному значению составляющей тока возбуждения I_a , компенсирующей реакцию якоря при номинальном токе (рис. 8.16).

Сверхпереходные реактивные сопротивления x_d'' и x_q'' могут быть найдены из опыта поочередного питания током 50 Гц каждого из двух линейных выводов обмотки статора при неподвижном роторе. Во время испытаний обмотку ротора замыкают накоротко, измеряют подводимое напряжение, ток и мощность, потребляемые статором, а также ток в цепи возбуждения. Сверхпереходные сопротивления x_d'' и x_q'' определяют в виде

$$x_d'' = x_{cp} \mp \Delta x;$$

$$x_q'' = x_{cp} \pm \Delta x,$$

где x_{cp} — среднее значение сопротивления:

$$x_{cp} = \frac{1}{3}(x_{AB} + x_{BC} + x_{CA});$$

$$\Delta x = \frac{2}{3} \sqrt{x_{AB}(x_{AB} - x_{BC}) + x_{BC}(x_{BC} - x_{CA}) + x_{CA}(x_{CA} - x_{AB})};$$

x_{AB} , x_{BC} , x_{CA} — реактивные сопротивления между каждой парой линейных выводов; знак перед Δx определяется следующим образом: если наибольшему измеренному значению x_{AB} , x_{BC} или x_{CA} соответствует минимальный ток в обмотке возбуждения, то $x_d'' < x_q''$, при максимальном токе в обмотке возбуждения $x_d'' > x_q''$.

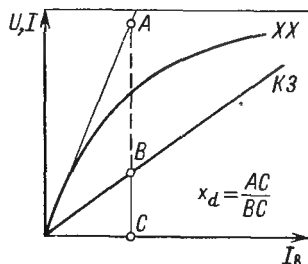


Рис. 8.15. К определению x_d

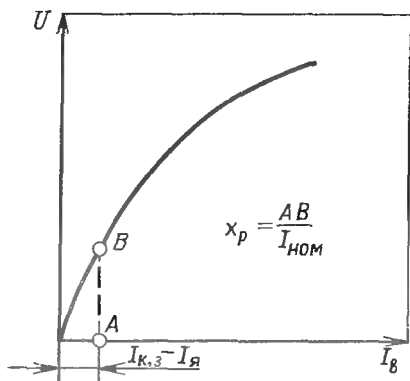


Рис. 8.16. К определению x_p

Индуктивное сопротивление обратного следования фаз x_2 , как правило, определяют из опыта питания вращающегося генератора напряжением до 0,15 номинального с обратным чередованием фаз. Обмотку возбуждения при этом замыкают накоротко.

Во время опыта измеряют напряжение, ток во всех фазах и подводимую мощность. Сопротивление x_2 определяют по средним значениям напряжения и тока.

Переходное сопротивление x_d' может быть найдено из опыта внезапного короткого замыкания как отношение напряжения холостого хода до короткого замыкания к начальному значению периодической составляющей тока короткого замыкания за вычетом сверхпереходной составляющей.

Постоянная времени T_d' может быть найдена из опыта внезапного короткого замыкания обмотки возбуждения машины, работающей в режиме ненагруженного генератора с номинальными напряжением и частотой. Постоянную T_d' находят из осциллограммы затухания напряжения на выводах машины.

Постоянную T_d' определяют из опыта внезапного короткого замыкания обмотки статора по кривой затухания переходной составляющей тока короткого замыкания статора.

В соответствии с действующими стандартами синхронные машины должны выдерживать без повреждений внезапное симметричное короткое замыкание при 105% номинального напряжения холостого хода.

Для крупных турбо- и гидрогенераторов, предназначенных для работы в блоке с трансформаторами, считается достаточным, чтобы они выдерживали внезапное ко-

роткое замыкание на выводах при напряжении, равном 70% номинального.

Короткое замыкание, за исключением наиболее крупных машин, производят масляным выключателем, при этом обеспечивается одновременность замыкания контактов (неодновременность не должна превосходить 15°).

Для записи токов короткого замыкания используют безындукционные шунты или трансформаторы тока. Кроме записи токов в обмотке статора производят также запись тока в цепи возбуждения и одного из линейных напряжений.

По нормам МЭК машина считается выдержавшей испытания на внезапное короткое замыкание, если она может быть включена в сеть сразу же после испытания или после незначительного ремонта обмотки статора. Перед включением в сеть обмотка статора должна быть испытана на электрическую прочность напряжением, равным 80% испытательного напряжения, предусмотренного для новой машины. Незначительным считается ремонт крепления обмотки или внешних слоев изоляции, не связанный с заменой стержней.

8.7.2. Испытания на месте установки

На месте установки все turbo-, гидрогенераторы и крупные синхронные машины подвергаются приемо-сдаточным испытаниям, которые включают кроме приемо-сдаточных испытаний на стенде завода-изготовителя дополнительно испытания на нагрев; измерение вибраций подшипников; проверку работы газомасляной системы водородного охлаждения и определение утечки водорода (для машин с водородным охлаждением); проверку работы системы жидкостного охлаждения (для машин с жидкостным охлаждением).

На месте установки проводят также испытания гидрогенераторов и других синхронных машин большого габарита, испытания которых на стенде завода-изготовителя или не представляются возможными, или требуют больших затрат на их проведение.

Испытание на нагревание. В гидрогенераторах измерение температуры обмотки статора и активной стали производят с помощью термометров сопротивления. Температуру обмотки определяют по показаниям термометра сопротивления, заложенного между стержнями (сторонами катушек) обмотки статора. Температуру активной стали определяют по показаниям термометров

сопротивления, заложенных на дно паза. Согласно требованиям ГОСТ 5616-81Е для измерения температуры обмотки в гидрогенераторах мощностью свыше 10 МВ·А должно устанавливаться 12 термометров сопротивления при одной или двух параллельных ветвях обмотки и по два термометра на каждую параллельную ветвь при числе ветвей более двух. Для измерения температуры сердечника статора должно устанавливаться не менее шести термометров на гидрогенератор. Для генераторов с водяным охлаждением обмотки статора должны устанавливаться термометры (или другие температурные индикаторы) в конце каждой параллельной цепи системы охлаждения.

Для измерения температуры воздуха на выходе из каждой секции воздухоохладителя устанавливают по одному термометру, а в зоне горячего воздуха — два термометра на генератор.

В соответствии с ГОСТ 5616-81Е в гидрогенераторах с помощью термометров также измеряют температуру сегментов подпятников и подшипников (устанавливают по два термометра на каждый сегмент) и температуру масла в ванне подпятника и каждого подшипника (по данным показаний двух термометров).

Определение температуры обмотки возбуждения производят по данным измерения сопротивления обмотки в нагретом и холодном состояниях. Если r_T , r_X — сопротивления обмоток в нагретом и холодном состояниях, а ϑ_X — температура обмотки в практически холодном состоянии, то превышение температуры обмотки возбуждения

$$\Delta\vartheta = \frac{r_T - r_X}{r_X} (235 - \vartheta_X).$$

Определение температуры активных и конструктивных элементов гидрогенераторов производят как методом непосредственной нагрузки, так и по данным испытаний в косвенных режимах.

При испытании методом непосредственной нагрузки определение превышений температуры обмоток и стали производят при трех-четырёх различных нагрузках (от 0,6 номинальной и выше). По данным испытаний строят зависимости превышения температур от квадрата тока статора, а с их помощью уточняют (или определяют) превышения температур при номинальной мощности.

Превышение температуры обмотки статора по данным измерений превышения температуры обмотки в косвенных режимах определяют в виде

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_{k,3} + \Delta\vartheta_{x,x} - \Delta\vartheta_{\text{мех}},$$

где $\Delta\vartheta_{k,3}$ — превышение температуры в режиме короткого замыкания (обусловлено основными и добавочными потерями в обмотке, а также механическими потерями); $\Delta\vartheta_{x,x}$ — превышение температуры в режиме холостого хода (обусловлено потерями в стали и механическими); $\Delta\vartheta_{\text{мех}}$ — превышение температуры в режиме холостого хода без возбуждения.

Определение номинального тока возбуждения. Номинальный ток возбуждения определяют методом непосредственной нагрузки или методом графического построения. В последнем случае номинальный ток возбуждения находят по характеристикам холостого хода, короткого замыкания и реактивности Потье x_p (рис. 8.17). Из характеристики холостого хода с учетом x_p находят ток I_b , из характеристики короткого замыкания — составляющую тока возбуждения $I_{k,3}$ и по этим величинам — номинальный ток возбуждения $I_{b, \text{ном}}$.

Определение КПД гидрогенератора. Для экспериментального определения КПД гидрогенератора используют метод отдельных потерь, который предусматривает два способа измерения потерь — calorиметрический и самоторможения. Предпочтительным является метод самоторможения.

Calorиметрическим способом определяют потери механические, в стали, а также добавочные. С этой целью последовательно проводят опыты холостого хода без возбуждения, холостого хода с возбуждением до номинального напряжения и установившегося симметричного короткого замыкания с номинальным током в обмотке статора. Потери в каждом опыте определяют по количеству тепла, отводимого охлаждающей средой (или охлаждающими средами, если различные части машины охлаждаются различными охлаждающими средами), при установившемся тепловом состоянии машины по формуле

$$P = V_c C_V (\vartheta_2 - \vartheta_1),$$

где V_c — объемный расход охлаждающей среды, м³/с; C_V — объемная теплоемкость охлаждающей среды, кДж/м³; ϑ_2 и ϑ_1 — температура охлаждающей среды на входе в машину и выходе из нее.

Для определения потерь испытываемый гидрогенератор приводится во вращение с номинальной частотой вращения в режиме ненагруженного двигателя от другого гидрогенератора.

Для определения потерь способом само-

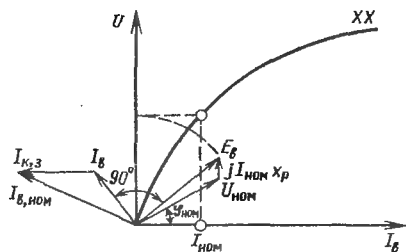


Рис. 8.17. К определению номинального тока возбуждения

торможения частота вращения испытываемого гидрогенератора доводится до значения, несколько превышающего номинальное, после чего источник энергии отключается. При этом проводят три опыта: самоторможение без возбуждения; при холостом ходе и номинальном напряжении; в режиме симметричного короткого замыкания на выводах машины и номинальном токе в обмотке статора.

Из опыта самоторможения при осушенной полости турбины определяют механические потери всего агрегата. Суммарные механические потери в генераторе находят путем вычитания потерь на трение вращающихся частей турбины о воздух, которые рассчитывают по эмпирическим формулам. Потери в подпятнике и подшипниках либо принимают равными расчетным, либо измеряют calorиметрическим способом.

В соответствии с требованиями ГОСТ 10169-77 каждый опыт проводится не менее 3 раз. Во всех опытах определяется время, в течение которого частота вращения машины изменится от 1,1 до 0,9 номинальной. Отсчеты по приборам, измеряющим электрические величины, производятся в момент прохождения испытываемой машиной синхронной скорости. Соответствующие потери из опыта самоторможения находятся по формуле

$$P = C n_{\text{ном}} \frac{\Delta n}{\Delta t},$$

где C — постоянная самоторможения; $n_{\text{ном}}$ — номинальная частота вращения; Δt — время, в течение которого частота вращения машины изменяется на Δn .

Постоянная самоторможения C определяется по маховому моменту гидрогенератора или же опытным путем по данным измерений потерь в режиме ненагруженного двигателя.

Для синхронных машин по требованиям действующих стандартов измеряется вибра-

ция подшипников машин. Измерение вибрации (виброперемещений или эффективного значения вибрационной скорости) производят на верхних крышках подшипников в вертикальном направлении и у разбега в поперечном и осевом направлениях.

Для турбогенераторов эффективное значение вибрационной скорости не должно превышать 4,5 мм/с во всех режимах работы.

В гидрогенераторах вибрацию измеряют в горизонтальной плоскости крестовин. Согласно ГОСТ 5616-81Е до частоты вращения 100 об/мин допустимая вибрация составляет 180 мкм, свыше 100 до 187,5 об/мин — 150 мкм, до 375 об/мин — 100 мкм, до 750 об/мин — 70 мкм.

На головных (опытных) образцах турбо- и гидрогенераторов измеряют вибрацию сердечника и лобовых частей обмотки статора. Допустимая вибрация (размах колебаний) для сердечника статора турбогенератора составляет 60 мкм, гидрогенератора — 30 мкм. Вибрация (размах колебаний) для лобовых частей обмотки статора не должна превышать 150 мкм.

Вибрация контактных колец в турбогенераторах не должна быть больше 200 мкм.

Для машин с водородным охлаждением производят определение утечки водорода. Испытание производят на опрессованных машинах и машинах, испытанных на газоплотность в неподвижном состоянии после сборки на месте испытания. Определение утечки должно выполняться при рабочем давлении газа внутри машины и при вращении с номинальной частотой вращения на холостом ходу без возбуждения.

Для поддержания неизменной температуры газа расход и температура охлаждающей воды поддерживаются неизменными.

Определение утечки производится как с подпиткой при постоянном давлении в машине, так и без подпитки.

При подпитке от баллона объемом V_6 утечка водорода V_y определяется по формуле

$$V_y = 9,86 \frac{273}{273 + \vartheta} \frac{p_1 - p_2}{t_2 - t_1} V_6,$$

где ϑ — температура газа во время испытания; p_1 — первоначальное давление газа в баллоне в момент времени t_1 ; p_2 — окончательное давление в момент времени t_2 .

При определении утечки без подпитки производятся измерения давления водорода в машине p_1 и p_2 и его температуры при входе в машину ϑ_1 и ϑ_2 за промежуток времени T . Тогда утечка

$$V_y = 2690 \frac{V_r}{T} \left(\frac{p_1}{273 + \vartheta_1} - \frac{p_2}{273 + \vartheta_2} \right),$$

где V_r — объем газа в машине.

Для турбогенераторов утечка водорода не должна превышать 12 м³/сут.

Измерение уровня шума производят при работе машины в режиме холостого хода с возбуждением или при номинальной нагрузке на расстоянии 1 м от машины по ее контуру. По нормам на турбогенераторы уровень звука не должен превышать 90 дБ, на гидрогенераторы и другие синхронные машины — 85 дБ (по шкале А).

Измерение сопротивления изоляции подшипников проводят при температуре окружающей среды мегаомметром на напряжение не менее 1000 В.

Измерение электрического напряжения между концами вала осуществляют на работающей машине с помощью вольтметра с малым внутренним сопротивлением, при этом прибор присоединяют непосредственно к концам вала.

Масло- и воздухоохладители испытывают гидравлическим давлением в течение 30 мин. Если рабочее давление p в охладителях менее 0,5 МПа, испытательное давление принимают равным $1,5p$, но не менее 0,3 МПа; при большем рабочем давлении испытательное давление должно составлять $1,25p$, но не менее $p + 0,3$ МПа.

8.8. Перспективы развития синхронных машин

8.8.1. Основные направления развития синхронных машин

Основные направления развития синхронных машин:

- оптимизация применяемости крупных электрических машин для достижения соответствия их основных параметров и характеристик реальным условиям эксплуатации;
- повышение максимальных единичных мощностей, частот вращения, степени защиты, улучшения пусковых и рабочих характеристик для экономии материалов, снижения потерь электроэнергии, повышения надежности и долговечности;

- повышение уровня автоматизации управления и обеспечение автоматического регулирования режимов работы крупных электрических машин по заданным законам для снижения потребления электроэнергии, затрат по обслуживанию и улучшению качества выпускаемой продукции;

- создание широкой номенклатуры двига-

телей при максимальной унификации их конструкции и технологии изготовления напряжением 10 кВ мощностью от 500—630 кВт и выше, двигателей с полупроводниковыми системами возбуждения (статическими и бесщеточными), не требующими внешнего источника питания, и других машин, позволяющих ликвидировать лишние промежуточные звенья в преобразовании энергии.

Новой задачей является разработка генераторов и оборудования для ветроэлектростанций и других нетрадиционных источников энергии.

8.8.2. Перспективы развития гидрогенераторостроения

В области гидрогенераторостроения в ближайшие 10—15 лет предстоит создать уникальные типы гидрогенераторов мощностью 500—1000 МВт в единице. Самую большую единичную мощность будут иметь гидрогенераторы Туруханской ГЭС на реке Нижняя Тунгуска (1000 МВт, 107 об/мин). Они будут выполнены на основе опыта создания и освоения гидрогенераторов Саяно-Шушенской ГЭС. В настоящее время проводятся исследовательские работы по внедрению более высокого напряжения (20 кВ), совершенствованию компоновки генератора, конструкции сердечника и обмотки статора, обода ротора и подпятника.

В ближайшие годы потребуются также генераторы-двигатели для ГАЭС мощностью 300—400 МВт на частоты вращения 300—500 об/мин. Эти машины будут созданы на базе генераторов-двигателей Загорской ГАЭС. Здесь основные задачи связаны со снижением потерь, созданием рациональной конструкции системы опор, усовершенствованием реверсивного подпятника.

В XII пятилетке должна быть создана новая серия гидрогенераторов небольшой мощности для использования энергоресурсов малых рек. Особенностью машин серии явится обеспечение их работы в полностью автоматизированном режиме.

8.8.3. Перспективы развития турбогенераторостроения

Перспектива турбогенераторостроения связана с обеспечением высокого уровня надежности генераторов. Наиболее эффективное направление повышения надежности связано с повышением долговечности отдельных узлов и деталей и улучшением показателей ремонта генераторов. Последнее

обеспечивается за счет вывода оптимального регламента проведения ремонта, индустриализации ремонтных работ, создания более совершенной технологии ремонта.

Другое направление повышения эффективности турбогенераторов связано с совершенствованиями систем обеспечения (системы газо- и маслоснабжения, водяного хозяйства, возбуждения), широким внедрением в этих системах микропроцессорной техники и высоким уровнем автоматизации. Дальнейшее улучшение показателей надежности будет также достигнуто за счет применения средств технической диагностики состояния напряженных узлов и элементов. Широкое внедрение комплексных систем диагностики позволит своевременно выявлять предаварийное состояние машин, устранять имеющиеся неисправности и избегать длительного простоя турбогенераторов из-за аварийного выхода из строя.

Современные турбогенераторы работают в энергосистемах в сложных условиях: при пониженных частоте и напряжении, глубоких разгрузках, систематических пусаках и остановах. Генераторы в составе агрегатов периодически подвергаются динамическим воздействиям: крутильным колебаниям, ударным токам, следующим за переходными режимами при коротких замыканиях, неточной синхронизации, потере синхронизма и др. В последние годы благодаря выполненным исследованиям обеспечена работа турбогенераторов в режимах глубокого недо возбуждения, несимметричных и динамических режимах. Однако изучение влияния этих режимов на конструкцию и надежность работы генераторов должно быть продолжено.

Анализ перспектив развития энергетики показывает, что в ближайшие годы потребуются турбогенераторы мощностью 1500 МВт для работы в блоке с атомными реакторами. Их конструкция будет базироваться на конструкции и технологии изготовления турбогенераторов класса 1000—1200 МВт. При этом должны быть продолжены исследования по выявлению и возможному устранению повышенных местных потерь и нагревов, концентраторов механических напряжений и мест повышенных напряженностей электрического поля.

Принципиально новые направления в развитии турбогенераторостроения связаны с использованием явления сверхпроводимости. Применение сверхпроводимости в сочетании с беспазовой конструкцией статора даст возможность снизить массу турбогенераторов в 2—2,5 раза и одновременно

повысить их КПД на 0,6–0,7%: Уже создан опытно-промышленный сверхпроводниковый турбогенератор мощностью 20 МВ·А при

частоте вращения 3000 об/мин и изготовляется опытный генератор мощностью 300 МВт, 3000 об/мин.

Раздел 9

АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

В настоящий раздел вошли технические данные асинхронных двигателей основного исполнения и модификаций серий общего назначения. Технические данные асинхронных двигателей специального назначения (крановых, металлургических, экскаваторных и др.), в том числе разработанных на базе серий общего назначения, приведены в т. 2 Справочника.

9.1. Общие сведения

9.1.1. Асинхронные машины как преобразователи энергии

Преобразование энергии в асинхронных машинах происходит при несинхронном (асинхронном) вращении ротора и магнитного поля. Разность частот вращения ротора n_p и поля статора n_c определяет частоту и амплитуду ЭДС, наводимой в проводниках обмотки ротора. В рабочих режимах машины разница в частотах вращения ротора и поля статора обычно составляет лишь несколько процентов. Поэтому при анализе и характеристике работы машины частоту вращения ротора оценивают не в абсолютных единицах (об/мин, рад/с), а в относительных, вводя понятие скольжения s (см. § 1.1). Скольжение выражается либо в процентах ($s = 1\%$, $2,5\%$ и т. д.), либо в долях единицы ($s = 0,01$; $0,025$ и т. д. [12]).

Теоретически асинхронная машина мо-

жет работать во всем диапазоне изменений s от $-\infty$ до 0 (генераторный режим) и от 0 до ∞ (рис. 9.1), но не при $s = 0$. Режим работы с положительным скольжением подразделяется на двигательный ($s = 0 \div 1$) и тормозной, соответствующий изменению скольжения от 1 до ∞ . В тормозном режиме ротор вращается против направления вращения поля ($s = \frac{n_c - (-n_p)}{n_c} > 1$) и машина создает момент, обратный моменту, приложенному к валу.

9.1.2. Конструкция и основные эксплуатационные характеристики

По конструктивному исполнению и способам монтажа двигателя выполняют в соответствии с ГОСТ 2479-79. Наибольшее распространение получили исполнения IM1–IM4. Среди машин малой мощности распространены также исполнения IM5 и IM9, которые часто применяют в различных бытовых устройствах и в электрифицированном инструменте. По степени защиты от воздействия окружающей среды для машин малой мощности более распространены асинхронные двигатели исполнения IP44 и IP54 со способом охлаждения IC041, а для машин средней и большой мощностей — также исполнения IP23 со способом охлаждения IC01.

Статоры машины шихтуют из электро-технической стали толщиной 0,35–0,5 мм. При длине магнитопровода меньше 250–300 мм радиальные каналы в статорах отсутствуют. При большей длине магнитопровод подразделяют радиальными каналами, служащими для прохода охлаждающего воздуха. Обмотка статора во всех машинах общего назначения до напряжения 660 В мощностью до 100 кВт — из круглого провода, выпная, а при мощности более 100 кВт — из подразделенных катушек из прямоугольного провода. В машинах на номинальное напряжение 3 кВ и выше обмотка выполняется только цельными катушками, намотанными прямоугольным проводом. Конструкция кре-

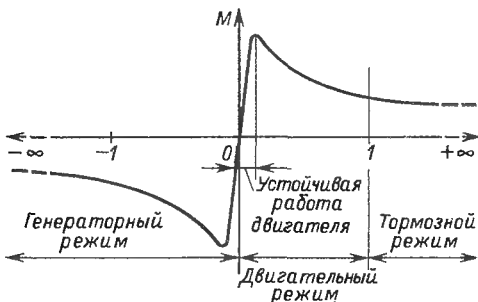


Рис. 9.1. Механическая характеристика асинхронной машины

пления магнитопровода статора в корпусе зависит от габаритов и мощности машины. В машинах малой мощности корпуса выполнены из алюминия, в некоторых конструкциях — заливкой алюминия на собранный магнитопровод статора. В более мощных машинах корпуса и подшипниковые шиты чугунные или стальные. В машинах больших габаритов корпуса сварные из листовой стали.

Вентиляторы в большинстве машин установлены непосредственно на валу, в машинах исполнения IP23 — внутри корпуса, в машинах исполнения IP44 — вне корпуса, под кожухом. В машинах с короткозамкнутыми роторами функцию вентиляторов выполняют вентиляционные лопасти на замыкающих кольцах обмотки ротора.

Сердечники роторов двигателей с высокой оси вращения до 450 мм насаживают непосредственно на вал, причем до высоты $h = 225 \div 250$ мм — на гладкий вал. В более крупных машинах сердечники крепят на валу шпонкой. Сердечники роторов машин больших габаритов насаживают на втулку или на остов ротора.

В подавляющем большинстве случаев асинхронные машины используют как двигатели, т. е. они работают в диапазоне скольжений от $s = 1$ (начальный момент пуска — ротор неподвижный) до значений, близких к нулю (в режиме холостого хода $s_{кр} \rightarrow 0$).

Для оценки и сравнения пусковых свойств асинхронных двигателей (АД) моменты, развиваемые АД при пуске и разгоне, принято выражать не в абсолютных, а в относительных единицах, т. е. указывать кратность момента по отношению к номинальному ($M_* = M/M_{ном}$).

Кривая $M_* = f(s)$ имеет несколько характерных точек, соответствующих пусковому $M_{п*}$, минимальному $M_{мин*}$, максимальному M_{max*} и номинальному моментам ($M_{ном*} = 1$) (рис. 9.2).

Пусковой момент характеризует начальный момент, развиваемый АД непосредственно после включения в сеть при неподвижном роторе ($s = 1$). В начале разгона АД его момент несколько уменьшается по сравнению с пусковым. Обычно $M_{мин}$ на 10–15% меньше $M_{п}$. У большинства АД $M_{п*} \geq 1$, однако АД могут быть пущены под нагрузкой только при условии, что момент сопротивления на валу будет меньше, чем $M_{мин*}$, иначе АД не разгонится и будет работать с большим скольжением (участок кривой от $M_{мин*}$ до $M_{п*}$). Такой режим опасен для АД, так как сопровождается большими токами обмоток.

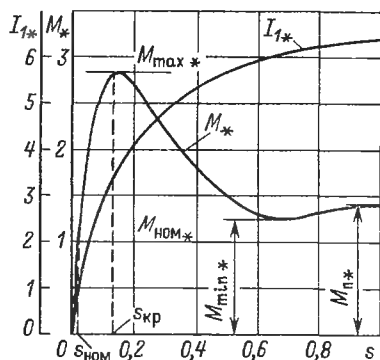


Рис. 9.2. Зависимость тока и момента асинхронного двигателя от скольжения

Максимальный момент характеризует наибольший момент АД — его перегрузочную способность. Часто M_{max*} называют также критическим моментом, а скольжение, при котором момент достигает максимума, — критическим скольжением ($s_{кр}$). В АД общего назначения $s_{кр}$ обычно не выходит за пределы 0,07–0,12. Если момент сопротивления при работе АД превышает M_{max*} , АД останавливается.

Номинальный момент $M_{ном}$ — это момент на валу АД, работающего при номинальном напряжении с номинальной нагрузкой при номинальном скольжении.

Режим, при котором обмотка статора подключена к сети, а ротор неподвижен (заторможен), называют коротким замыканием АД. При $s = 1$ ток АД в несколько раз превышает номинальный (рис. 9.2), поэтому в режиме короткого замыкания АД, не рассчитанный на работу при $s \approx 1$, может находиться лишь в течение нескольких секунд. Режим короткого замыкания возникает при каждом пуске АД из неподвижного состояния, однако в этих случаях он кратковремен и обмотка не успевает нагреться выше допустимого уровня. Несколько пусков АД подряд через короткие промежутки времени могут повлечь за собой повышение температуры его обмоток выше допустимой, если АД не рассчитаны на такой режим работы.

Асинхронные машины, предназначенные для работы с большими скольжениями, с $s = 1$ (в трансформаторном режиме) или с $s > 1$ (в тормозном режиме), специально рассчитывают с учетом повышенных токов в обмотках.

Рабочие характеристики АД (рис. 9.3) показывают, что наибольший КПД достигает-

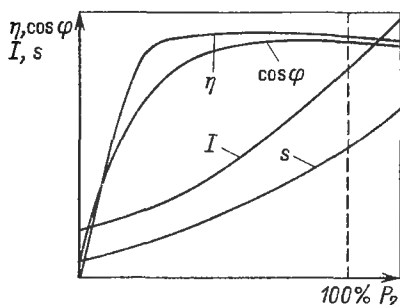


Рис. 9.3. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

ся при нагрузке на 10–15% меньшей номинальной. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой.

При эксплуатации АД с нагрузкой, существенно меньшей номинальной, уменьшаются и их КПД, и коэффициент мощности.

Асинхронные двигатели в силу ряда достоинств (относительная дешевизна, высокие энергетические показатели, простота обслуживания) являются наиболее распространенными среди всех электрических машин. В количественном отношении они составляют около 90% всего парка машин в народном хозяйстве, а по установленной мощности — около 55%. Асинхронные двигатели выпускают, как правило, большими сериями, наиболее значительными из которых яв-

ляются машины общего назначения — серии 4А, АИ и серии специализированных двигателей, например крановых МТ, взрывозащищенных ВР и др. Двигатели малой мощности для бытовой техники выпускают в количестве нескольких десятков миллионов штук в год.

9.1.3. Особенности асинхронных двигателей с фазными и короткозамкнутыми роторами

По конструкции АД делят на два типа: АД с фазным ротором (рис. 9.4) и АД с короткозамкнутым ротором (рис. 9.5). Конструкции статоров, корпусов, подшипниковых щитов и общая компоновка машин обоих типов не имеют существенных различий.

В пазах фазных роторов размещена изолированная обмотка, имеющая столько же фаз, сколько и обмотка статора. Обмотка ротора в большинстве случаев жестко соединена в звезду и реже — в треугольник и имеет только три вывода, которые подсоединены к контактным кольцам, расположенным внутри корпуса или на выступающем конце вала. Токосоединения от обмотки к контактным кольцам, расположенным вне корпуса, проходят по внутреннему отверстию вала. Прилегающие к контактным кольцам щетки соединены с пусковым реостатом, позволяющим изменять сопротивление роторной цепи.

В начальный момент пуска АД между кольцами включают наибольшее сопротив-

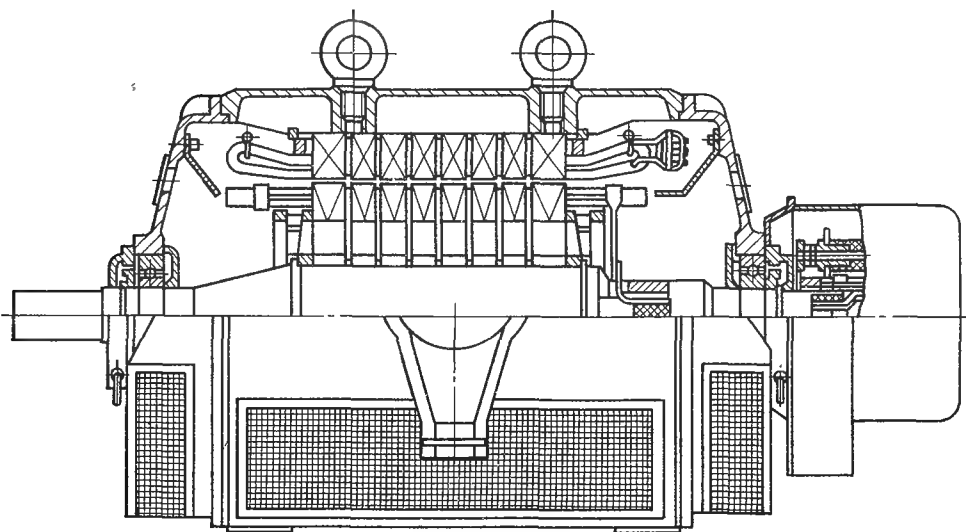


Рис. 9.4. Асинхронный двигатель с фазным ротором

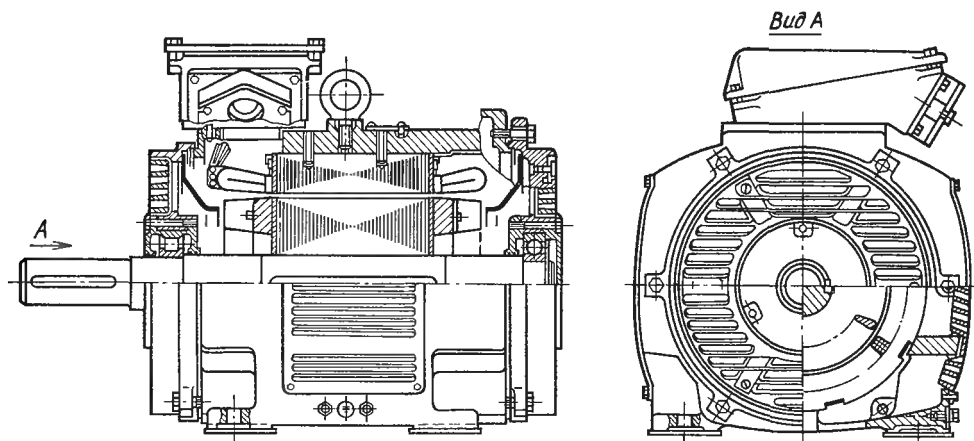


Рис. 9.5. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором

ление, что позволяет получить большой пусковой момент и ограничить пусковой ток двигателя. По мере разгона отключают поочередно группы резисторов таким образом, что весь период разгона АД проходит при моменте и токе, изменяющихся в определенных пределах (рис. 9.6).

Изменение сопротивления цепи фазного ротора путем введения добавочных резисторов используют также для плавного, без больших ускорений пуска двигателя и для регулирования частоты вращения. Однако этот метод регулирования снижает КПД двигателя из-за больших электрических потерь в резисторах. При этом по резисторам длительно протекает полный ток ротора, по-

этому регулировочный реостат имеет большие размеры, чем пусковой.

Электродвигатели с фазными роторами находят применение в приводах с тяжелыми условиями пуска, требующих плавного пуска и разгона, и в приводах с регулированием частоты вращения, например в приводах подъемных кранов.

Обмотки короткозамкнутых роторов АД машин не имеют корпусной изоляции. В АД общего назначения мощностью до 300–400 кВт обмотку короткозамкнутых роторов выполняют заливкой пазов алюминием или его сплавами, причем одновременно отливают и стержни обмотки, и замыкающие кольца с вентиляционными лопатками.

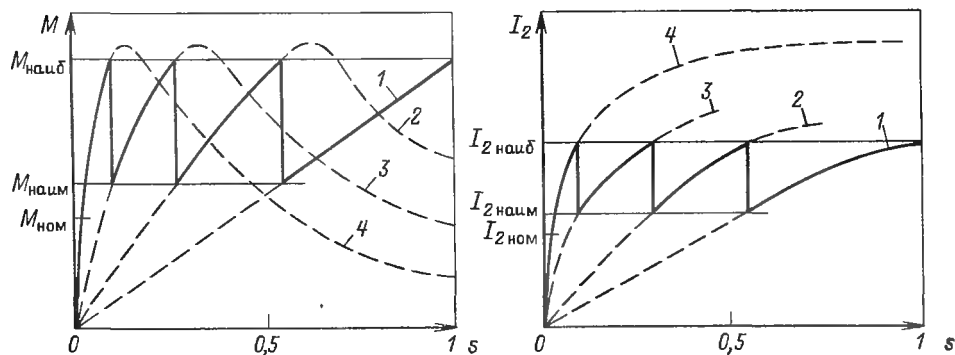


Рис. 9.6. Изменение тока и момента при реостатном пуске асинхронного двигателя с фазным ротором:

1–3 — характеристики при различных ступенях пускового реостата с последовательно убывающими значениями сопротивлений; 4 — естественные характеристики; $M_{\text{наиб}}$, $M_{\text{наим}}$ — наибольший и наименьший моменты, развиваемые двигателем в процессе реостатного пуска; $I_{2\text{наиб}}$, $I_{2\text{наим}}$ — наибольший и наименьший токи ротора во время разгона двигателя

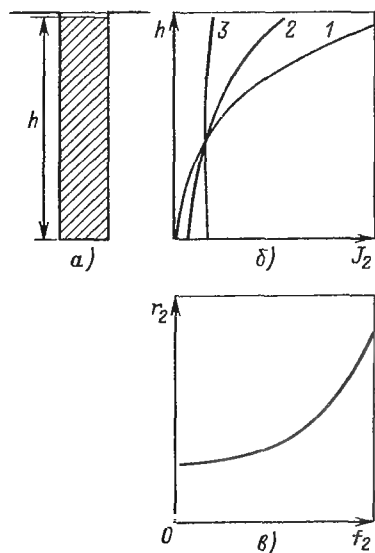


Рис. 9.7. Влияние эффекта вытеснения тока на активное сопротивление короткозамкнутой обмотки ротора:

a — стержень обмотки в пазу ротора; *б* — распределение плотности тока по сечению стержня при разных частотах (1 — при пуске двигателя, $s = 1$, $f_2 = f_1$; 2 — в процессе разгона двигателя, $1 > s > s_{\text{ном}}$; $f_{2\text{ном}} < f_2 < f_1$; 3 — при номинальном режиме, $s = s_{\text{ном}}$, $f_{2\text{ном}} = f_1 s_{\text{ном}}$); *в* — изменение сопротивления обмотки в зависимости от частоты тока в роторе

Изготовление короткозамкнутых роторов значительно проще и дешевле, чем фазных, а отсутствие контактных колец, скользящих контактов и пусковых реостатов уменьшает общие габариты машины, повышает ее надежность и упрощает эксплуатацию. Поэтому подавляющее большинство современных АД мощностью до нескольких сотен киловатт выполняют с короткозамкнутыми роторами.

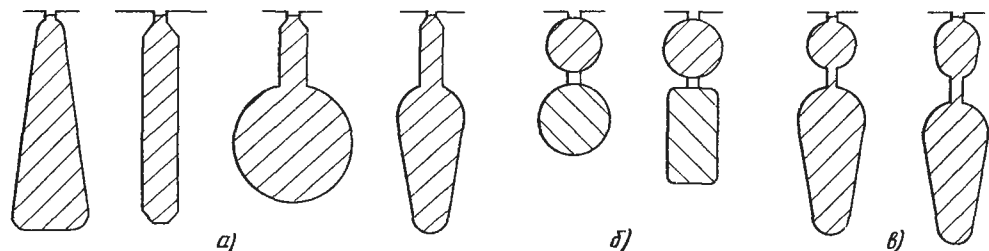


Рис. 9.8. Конфигурация стержней короткозамкнутых роторов асинхронных двигателей с повышенными пусковыми характеристиками:

a — фигурные стержни; *б* — вставные стержни двухклеточных роторов; *в* — стержни литой обмотки двухклеточных роторов

Для повышения пусковых моментов АД с короткозамкнутыми роторами используют эффект вытеснения тока. Он заключается в неравномерном распределении тока по поперечному сечению стержней обмотки ротора: плотность тока уменьшается в нижней, ближайшей к дну паза части каждого стержня и увеличивается в верхней части, обращенной к воздушному зазору. Вызванное этим увеличение электрических потерь в стержнях эквивалентно увеличению активного сопротивления обмотки ротора по сравнению с ее сопротивлением постоянному току.

Эффект вытеснения тока возрастает с увеличением частоты тока в роторе (рис. 9.7) и в двигательном режиме асинхронных машин становится наибольшим в начальный момент пуска при $s = 1$, когда $f_2 = f_1$. Это вызывает увеличение пускового момента. Во время разгона АД частота тока ротора уменьшается ($f_2 = s f_1$) и, следовательно, уменьшается эквивалентное сопротивление обмотки ротора. В номинальном режиме при малых скольжениях эффект вытеснения тока практически не проявляется и ток распределяется равномерно по всему сечению стержней обмотки ротора.

Сопротивление обмотки ротора под действием эффекта вытеснения тока возрастает в большей степени в высоких стержнях и в стержнях с уменьшенной площадью поперечного сечения их верхней части по сравнению с нижней. Поэтому в роторах АД, предназначенных для работы с тяжелыми условиями пуска, делают глубокие прямоугольные пазы либо стержни обмотки выполняют фигурными (рис. 9.8).

Такой же, а в ряде случаев и больший эффект достигают в роторах с двойной беличьей клеткой, когда в пазах располагают друг над другом по два стержня, образующих две обмотки. В пусковых режимах при

большой частоте тока ротора весь ток практически сосредоточивается только в верхних стержнях, имеющих большое сопротивление. При малых скольжениях его частота уменьшается и ток ротора распределяется равномерно по пусковой и рабочей обмоткам в соответствии с их активными сопротивлениями.

Обмотку короткозамкнутых роторов с фигурными стержнями выполняют в основном заливкой пазов алюминием, что позволяет выбрать конфигурацию пазов и стержней с оптимальными размерными соотношениями для достижения требуемого действия эффекта вытеснения тока. Лишь некоторые АД большой мощности выполняют с медными фигурными стержнями.

Обмотки роторов с двойными клетками делают как литыми, так и из вставных стержней (рис. 9.8). В литых обмотках обе (рабочую и пусковую) обмотки выполняют из одинакового материала. Они имеют общие замыкающие кольца. В роторах со вставными стержнями рабочую обмотку изготавливают из медных стержней, а пусковую — из стержней с меньшей удельной электрической проводимостью, в большинстве машин — из латунных. Замыкающие кольца каждой из обмоток раздельные, из того же материала, что и стержни. При одном и том же активном сопротивлении латунные стержни имеют большую площадь поперечного сечения, чем медные, и большую теплоемкость, что снижает индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора и уменьшает нагрев стержней пусковой обмотки во время пуска.

9.1.4. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей

Одним из недостатков АД является неэкономичное регулирование частоты вращения. Частота вращения АД $n_p = n_c(1 - s) = \frac{60f}{p}(1 - s)$ при постоянном моменте сопротивления зависит от скольжения и частоты вращения поля.

Изменение скольжения может быть достигнуто либо увеличением сопротивления цепи ротора, либо изменением потока. Первый способ применим лишь для АД с фазным ротором. Он дает возможность регулировать частоту вращения в широком диапазоне (практически от $s = 1$ до $s = s_{ном}$), но не экономичен, так как в дополнительно введенных в цепь обмотки ротора резисторах возникают большие потери от полного тока ротора.

Изменение потока машины осуществимо, например, путем изменения питающего напряжения, но возможно лишь в сторону его уменьшения. Скользящие АД при этом возрастает, но одновременно пропорционально квадрату напряжения уменьшается его перегрузочная способность, поэтому возможный диапазон регулирования частоты вращения АД невелик. По экономичности метод регулирования потоком примерно равноценен регулированию введением добавочного сопротивления в цепь ротора, так как с уменьшением потока возрастают токи статора и ротора и соответственно увеличиваются электрические потери при незначительном снижении потерь в стали.

Изменение частоты вращения поля n_c достигается либо регулированием частоты тока питания, либо изменением числа полюсов обмотки статора. Регулирование изменением частоты тока питания в последние годы получает все большее распространение в связи с развитием и совершенствованием тиристорных преобразователей. Основным недостатком данного метода наряду с высокой стоимостью самого преобразователя, некоторым снижением надежности работы всей установки и увеличением ее габаритов является несинусоидальность тока на выходе преобразователя, отражающаяся на технических показателях АД.

Регулирование частоты вращения путем изменения числа полюсов статора широко распространено во многих приводных установках. Обмотки АД с переключением числа пар полюсов дают возможность ступенчатого (две, три или четыре ступени) регулирования частоты вращения. Многоскоростные АД применяются во многих промышленных приводах и выпускаются электромашиностроительными заводами как модификации основных серий машин общего назначения. Основным недостатком данного метода является невозможность плавного регулирования и меньшее, чем в обычных АД, использование активного объема машины: габаритные размеры многоскоростных АД всегда больше, чем односкоростных тех же мощности и частоты вращения.

В некоторых установках применяют способ регулирования частоты вращения введением добавочной ЭДС в цепь фазного ротора.

Источником добавочной ЭДС, частота которой должна быть равна частоте тока ротора ($f_2 = sf_1$), может служить электромагнитный или тиристорный преобразователь, частота на выходе которого определяется частотой вращения регулируемой машины.

Другие возможные методы регулирования частоты вращения АД не получили распространения.

9.1.5. Специальные режимы асинхронных машин

В ряде специальных установок асинхронные машины с фазными роторами используются в качестве преобразователей частоты, для изменения фазы (фазовращатели) и для изменения напряжения (индукционные регуляторы).

В преобразователях частоты напряжение снимается с контактных колец фазного ротора, вращающегося от приводного двигателя. Статор машины подключается к сети с частотой f_1 . Переменная частота тока ротора определяется соотношением частоты вращения поля статора и частоты вращения приводного двигателя:

$$f_2 = f_1 \frac{n_c - n_p}{n_c} = \frac{p(n_c - n_p)}{60}.$$

Регулирование частоты f_2 достигается изменением частоты вращения ротора приводного двигателя n_p .

Для изменения фазы напряжения используют заторможенную асинхронную машину. Напряжение снимают с контактных колец ротора, при этом фаза напряжения определяется взаимным положением осей

обмоток ротора и статора (рис. 9.9). Для изменения положения ротора относительно статора и фиксации его в нужном положении используют червячную передачу с ручным или электрическим приводом от вспомогательного двигателя.

Для плавного изменения напряжения используют асинхронную машину, работающую в трансформаторном режиме (индукционный регулятор). К сети подключают обмотку заторможенного фазного ротора. Последовательно с каждой ее фазой по автотрансформаторной схеме (рис. 9.10) соединяют фазы обмотки статора, играющие роль вторичной обмотки автотрансформатора. При повороте ротора относительно статора из-за изменения взаимного положения их обмоток напряжение регулятора меняется:

$$U = U_1 \pm E_2,$$

где U_1 и E_2 — напряжение и ЭДС соответственно обмоток ротора и статора (см. рис. 9.10).

Поворот и фиксирование положения ротора относительно статора осуществляется так же, как и в фазорегуляторе, т. е. с помощью червячной передачи с ручным или электрическим приводом от вспомогательного электродвигателя. Индукционные регуляторы применяются в промышленных установках для плавного регулирования напряжения.

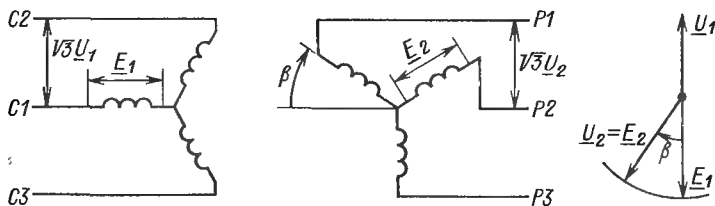


Рис. 9.9. Схема включения обмоток и векторная диаграмма напряжений фазовращателя

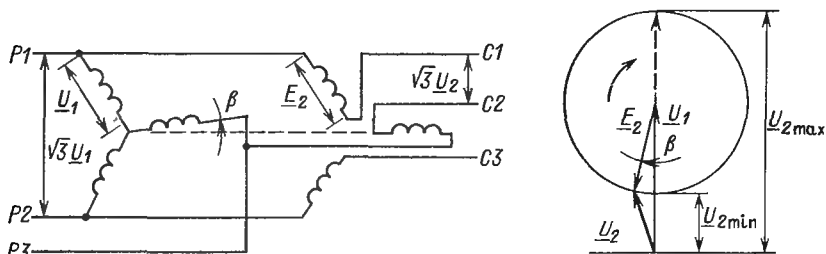


Рис. 9.10. Схема соединения обмоток и векторная диаграмма напряжений трехфазного индукционного регулятора

9.2. Асинхронные двигатели серии 4А

9.2.1. Структура и характеристика серии

Серия 4А является массовой серией АД, рассчитанных на применение в различных областях промышленности [2]. Она охватывает диапазон номинальных мощностей от 0,06 до 400 кВт и выполнена на 17 высотах оси вращения — от 50 до 355 мм. Принятый ряд мощностей двигателей соответствует ГОСТ 13267-73. Габаритные, установочные и присоединительные размеры АД регламентированы ГОСТ 18709-73.

Серия включает основное исполнение АД, ряд модификаций и специализированные исполнения. Двигатели основного исполнения соответствуют общим требованиям и предназначены для нормальных условий работы (двигатели общего назначения). Они выпускаются во всем диапазоне мощностей и высот оси вращения, охватываемых сериями. Это трехфазные АД с короткозамкнутым ротором, рассчитанные на частоту питания 50 Гц, имеющие степень защиты IP44 или IP23.

Модификации и специализированные исполнения АД серии 4А построены на базе их основного исполнения, т. е. имеют те же принципиальные конструктивные решения основных элементов и высоты оси вращения. Они выпускаются отдельными отрезками серий на определенные высоты оси вращения и номинальные мощности и предназначены для применения в механизмах, предъявляющих специфические требования к электроприводу, или в условиях эксплуатации, отличных от нормальных, регламентируемых ГОСТ 183-74.

К электрическим модификациям АД серии 4А в Справочнике отнесены АД с повышенным пусковым моментом, с повышенным номинальным скольжением, многоскоростные, двигатели с частотой питания 60 Гц.

К конструктивным модификациям АД серии 4А отнесены АД с фазным ротором, маломощные, со встроенными электромагнитными тормозами, встраиваемые, со встроенной температурной защитой, для многоблочных насосов.

Модификации исполнений по условиям окружающей среды включают АД тропического исполнения, химостойкие, сельскохозяйственного, влагоморозостойкого, пылезащитного и рудничного исполнений.

К специализированным исполнениям АД

серии 4А отнесены высокоточные двигатели, двигатели привода лифтов, частотно-управляемые и двигатели для привода деревообрабатывающих станков.

В серии 4А принята следующая система обозначений:

$$\frac{4А}{1} \frac{X}{2} \frac{X}{3} \frac{X}{4} \frac{X}{5} \frac{X}{6} \frac{X}{7} \frac{X}{8},$$

где 1 — название серии (4А);

2 — исполнение АД по способу защиты: буква Н — исполнение IP23, отсутствие буквы означает исполнение IP44;

3 — исполнение АД по материалу станины и щитов: А — станина и щиты алюминиевые; X — станина алюминиевая, щиты чугунные (или обратное сочетание материалов); отсутствие буквы — станина и щиты чугунные или стальные;

4 — высота оси вращения, мм (две или три цифры);

5 — установочный размер по длине станины: буквы S, M или L (меньший, средний или больший);

6 — длина сердечника: А — меньшая, В — большая при условии сохранения установочного размера; отсутствие буквы означает, что при данном установочном размере (S, M или L) выполняется только одна длина сердечника;

7 — число полюсов АД (одна или две цифры);

8 — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

Различные модификации и специализированные исполнения АД серии 4А обозначают дополнительными буквами, место которых в обозначении установлено для каждой из модификаций особо (см. пп. 9.2.5—9.2.25).

9.2.2. Назначение и условия эксплуатации двигателей основного исполнения

Асинхронные двигатели серии 4А основного исполнения предназначены для работы от сети трехфазного переменного тока частотой 50 Гц.

Нормальные значения климатических факторов внешней среды приписываются в соответствии с ГОСТ 15543-70, при этом загрязненность воздуха не должна быть более

10 мг/м³ для АД со степенью защиты IP44 климатических исполнений У2, У3, УХЛ4, У5 и более 2 мг/м³ для АД со степенью защиты IP23.

Условия эксплуатации АД в части воздействия механических факторов внешней среды — по группе М1 ГОСТ 17516-72.

Условия транспортирования АД в части воздействия механических факторов — С по ГОСТ 23216-78, в части воздействия климатических факторов — 5 по ГОСТ 15150-69.

Условия хранения упакованных АД для макроклиматических районов с умеренным климатом — 2, для макроклиматических районов с тропическим климатом — 6 по ГОСТ 15150-69.

Двигатели мощностью от 0,06 до 0,37 кВт изготавливают на номинальные напряжения 220 и 380 В:

мощностью от 0,55 до 11 кВт — 220, 380 и 660 В;

мощностью от 15 до 110 кВт — 220/380 и 380/660 В;

мощностью от 132 до 400 кВт — 380/660 В.

Двигатели мощностью до 11 кВт выпускаются с тремя, а по заказу потребителя — с шестью выводными концами. Соединение обмотки — треугольник или звезда.

Двигатели мощностью выше 15 кВт изготавливают с шестью выводными концами. Соединение обмотки — треугольник или звезда.

Исполнение АД по степени защиты (ГОСТ 17494-72), способу монтажа (ГОСТ 2479-79) и способу охлаждения (ГОСТ 20459-75) для различных высот оси вращения приведено в табл. 9.1.

Класс вибрации АД (по ГОСТ 16921-83) в зависимости от высоты оси вращения приведен в табл. 9.2.

Средние значения уровня шума АД в зависимости от высоты оси вращения и синхронной частоты вращения приведены в табл. 9.3.

Показатели надежности АД: средний срок службы — не менее 15 лет при наработке 4000 ч; средний срок службы до первого капитального ремонта — 8 лет при наработке 20 000 ч; вероятность безотказной работы — не менее 0,9 за 10 000 ч.

Увязка мощностей АД серии 4А основного исполнения с установочными размерами в зависимости от степени защиты и числа полюсов, определенная ГОСТ 19523-81, приведена в табл. 9.4 и 9.5.

Таблица 9.1

Исполнение двигателя по способу монтажа	Степень защиты	Высота оси вращения, мм	Способ охлаждения
IM1081, IM1082 IM2081, IM2082	IP44, IP54	50—250	ICA0141
IM1001, IM1002 IM2001, IM2002	IP44	280—355	ICA0141
IM2181, IM2182	IP44, IP54	50—90	ICA0141
IM3081	IP44, IP54	50—180	ICA0141
IM3011, IM3012 IM3031, IM3032	IP44, IP54	200—250	ICA0141
IM3011, IM3012 IM3031, IM3032	IP44	280	ICA0141
IM3681, IM3682	IP44, IP54	50—100	ICA0141
IM1001, IM1002	IP23	160—355	ICA01

Таблица 9.2. Классы вибрации асинхронных двигателей

Исполнение двигателя	Высота оси вращения, мм				
	50—71	80—132	160—225	250	280—355
Нормальной точности	1,12	1,8	2,8	4,5	4,5
Повышенной точности	0,71	1,12	1,8	2,8	—

Таблица 9.3

Высота оси вращения, мм	Средний уровень шума, дБ (по шкале А), на расстоянии 1 м от корпуса при синхронной частоте вращения, об/мин											
	3000	1500	1000	750	600	500	3000	1500	1000	750	600	500
	защищенных АД						закрытых обдуваемых АД					
50	—	—	—	—	—	—	62	62	—	—	—	—
56	—	—	—	—	—	—	63	62	—	—	—	—
63	—	—	—	—	—	—	65	62	57	—	—	—
71	—	—	—	—	—	—	71	63	59	57	—	—
81	—	—	—	—	—	—	71/74	66	61	59/61	—	—
90	—	—	—	—	—	—	76	66	64	63	—	—
100	—	—	—	—	—	—	76/80	70	67	64	—	—
112	—	—	—	—	—	—	80	74	67	67	—	—
132	—	—	—	—	—	—	84	76	72	67/69	—	—
160	84	78	—	—	—	—	85	78/80	74	72	—	—
180	84	80	75	72	—	—	89	83	78	74	—	—
200	84	85	78	75	—	—	89	84	78	75	—	—
225	86	85	78	75	—	—	91	85	78	77	—	—
250	90	85	82	75	—	—	93	85	78	78	78	—
280	92	87	82	79	76	—	95	91	85	81	78	—
315	92	88	84	82	79	82	95	91	85	81	81	80
355	92	89	87	82	82	85	96	93	88	84	81	84

Примечания: 1. Значения, указанные в числителе дроби, относят к АД меньшей мощности при данной высоте и частоте вращения, а в знаменателе — к большей мощности.

2. Допуск +3 дБ.

Таблица 9.4. Увязка мощностей с установочными размерами для двигателей основного исполнения, степень защиты IP44

Высота оси вращения, мм	Услов- ная длина станины	Мощность, кВт, при числе полюсов					
		2	4	6	8	10	12
50		0,09; 0,12	0,06; 0,09	—	—	—	—
56	—	0,18; 0,25	0,12; 0,18	—	—	—	—
63	—	0,37; 0,55	0,25; 0,37	0,18; 0,25	—	—	—
71	—	0,75; 1,1	0,55; 0,75	0,37; 0,55	0,25	—	—
80	—	1,5; 2,2	1,1; 1,5	0,75; 1,1	0,37; 0,55	—	—
90	L	3,0	2,2	1,5	0,75; 1,1	—	—
100	S	4,0	3,0	—	—	—	—
	L	5,5	4,0	2,2	1,5	—	—
112	M	7,5	5,5	3,0; 4,0	2,2; 3,0	—	—
132	S	—	7,5	5,5	4,0	—	—
	M	11,0	11,0	7,5	5,5	—	—
160	S	15,0	15,0	11,0	7,5	—	—
	M	18,5	18,5	15,0	11,0	—	—
180	S	22,0	22,0	—	—	—	—
	M	30,0	30,0	18,5	15,0	—	—
200	M	37,0	37,0	22,0	18,5	—	—
	L	45,0	45,0	30,0	22,0	—	—
225	M	55,0	55,0	37,0	30,0	—	—
250	S	75,0	75,0	45,0	37,0	30,0	—
	M	90,0	90,0	55,0	45,0	37,0	—
280	S	110,0	110	75,0	55,0	37,0	—
	M	132	132	90,0	75,0	45,0	—
315	S	160	160	110	90,0	55,0	45,0
	M	200	200	132	110	75,0	55,0
355	S	250	250	160	132	90,0	75,0
	M	315	315	200	160	110	90,0

Таблица 9.5. Увязка мощностей с установочными размерами для двигателей основного исполнения, степень защиты IP23

Высота оси вра- щения, мм	Условная длина станции	Мощность, кВт, при числе полюсов					
		2	4	6	8	10	12
160	S	22,0	18,5	—	—	—	—
	M	30,0	22,0	—	—	—	—
180	S	37,0	30,0	18,5	15,0	—	—
	M	45,0	37,0	22,0	18,5	—	—
200	M	55,0	45,0	30,0	22,0	—	—
	L	75,0	55,0	37,0	30,0	—	—
225	M	90,0	75,0	45,0	37,0	—	—
250	S	110	90,0	55,0	45,0	—	—
	M	132	110	75,0	55,0	—	—
280	S	160	132	90,0	75,0	45,0	—
	M	200	160	110	90,0	55,0	—
315	S	—	200	132	110	75,0	55,0
	M	250	250	160	132	90,0	75,0
335	S	315	315	200	160	110	90,0
	M	400	400	250	200	132	110

9.2.3. Особенности конструкции двигателей серии 4А

Конструктивными решениями, общими для всех высот оси вращения АД со степенью защиты IP44 (ГОСТ 17494-72) и способом охлаждения ICA0141 (ГОСТ 20459-75), являются станина с продольными радиальными ребрами и наружный обдув установленным на валу реверсивным центробежным вентилятором, защищенным кожухом, который служит одновременно для направления воздушного потока (рис. 9.11).

Двигатели с высотами оси вращения 280–355 мм имеют дополнительное охлаждение ротора наружным воздухом, проходя-

щим через окна в подшипниковых щитах, по трубкам и вентиляционным каналам ротора. Требуемая степень защиты обеспечивается вращающимися уплотнениями.

Характерными конструктивными решениями для двигателей АД со степенью защиты IP23 и способом охлаждения ICA01 (рис. 9.12) являются: близкая к квадратной форма станины с отверстиями для выхода, и щиты с отверстиями для входа охлаждающего воздуха; двусторонняя симметричная радиальная система вентиляции с центробежными вентиляторами, роль которых выполняют лопасти ротора, отлитые заодно с короткозамыкающими кольцами. Нужно направление воздуха придают направляющие щитки.

Требуемую степень защиты IP23 двигателям 4АН обеспечивают торцевые и боко-

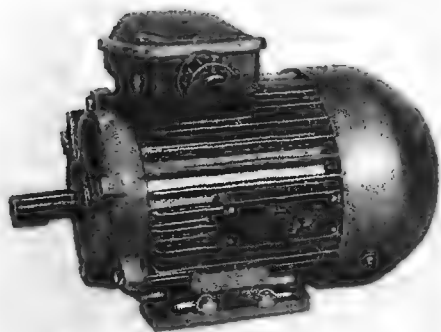


Рис. 9.11. Асинхронный двигатель серии 4А с короткозамкнутым ротором, исполнение IP44, $h = 71$ мм

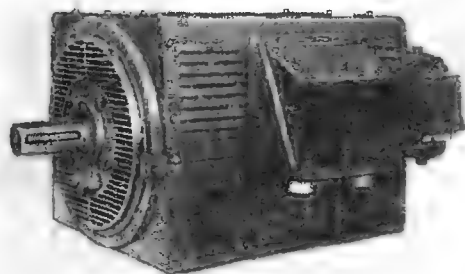


Рис. 9.12. Асинхронный двигатель серии 4А с фазным ротором, исполнение IP23, $h = 315$ мм

вые жалюзи, прикрывающие окна в станине и щитах.

Станина АД. Двигатели со степенью защиты IP44 имеют прилитые лапы и приливы для размещения и крепления вводного устройства. Станины АД с высотой оси вращения 50–63 мм изготавливаются из алюминиевого сплава. Двигатели с высотой оси вращения 71–160 мм имеют станины из алюминиевого сплава или чугуна. Станины АД с высотами оси вращения 180–250 мм — чугунные. У АД с высотами оси вращения 250–355 мм станины могут быть как чугунные литые, так и стальные сварные.

Станины АД со степенью защиты IP23 имеют две конструкции. У АД с высотой оси вращения 160–250 мм станины литые чугунные с внутренними ребрами, на которых крепится сердечник статора. Двигатели с высотой оси вращения 280–355 мм имеют сварной корпус, выполненный в виде полустанины цилиндрической формы. Полустанину крепят на четырех стойках и закрывают корпусом из листовой стали.

Для каждой высоты оси вращения предусмотрено не более двух станин с лапами, отличающихся только длиной, и соответственно двух станин без лап. Станины АД с высотами оси вращения 50–250 мм имеют внешние замковые поверхности, с высотами оси вращения 280–355 мм — внутренние.

Подшипниковые щиты АД с высотами оси вращения 50–63 мм выполнены из алюминиевого сплава. Отверстия под подшипники армированы стальной втулкой.

Подшипниковые щиты АД с высотами оси вращения 71–250 мм и степенью защиты IP44 выполнены из чугуна, щиты АД с высотами оси вращения 200–250 мм имеют внутреннее оребрение.

Подшипниковые щиты АД со степенью защиты IP23 и высотами оси вращения 160–250 мм имеют вид ступиды и обода, соединенных шестью ребрами-спицами.

Двигатели с высотами оси вращения 280–355 мм обоих исполнений по степени защиты имеют подшипниковые щиты с внешними замковыми поверхностями и окнами на торцевой поверхности для прохода охлаждающего воздуха.

Конструкция активных частей. Сердечники статора и ротора собраны из штампованных листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Для сердечников АД с высотами оси вращения 50–132 мм применяется сталь марки 2013 (ГОСТ 21427.2-83), для АД с высотами оси вращения 160–250 мм — сталь марки 2212 (ГОСТ 21427.2-83), для АД с высотами оси враще-

ния 280–355 мм — сталь марки 1312 (ГОСТ 21427.3-83).

Сердечники статоров АД скрепляют сваркой или стальными скобами. Сердечники статоров АД с высотами оси вращения 250–355 мм собираются непосредственно в станине, опрессовываются и закрепляются кольцевыми шпонками.

Обмотки АД с высотами оси вращения 50–132 мм имеют изоляцию класса нагревостойкости В, АД с высотами оси вращения 160–355 мм — класса F.

Двигатели с высотами оси вращения 50–160 мм, за исключением двухполусных с высотой оси вращения 160 мм, имеют однослойные всыпные статорные обмотки. Двигатели с высотами оси вращения 160–250 мм и двухполусные с высотой оси вращения 160 мм имеют одно-двухслойные или двухслойные всыпные обмотки. В АД с высотами оси вращения 280–355 мм применены обмотки из подразделенных катушек, намотанных прямоугольным проводом. Исключением являются 10-полусные АД с высотой оси вращения 280–355 мм и 12-полусные АД с высотой оси вращения 315–355 мм, имеющие всыпные двухслойные обмотки.

Обмотки короткозамкнутых роторов выполняются литыми из алюминия или его сплавов.

Конструкции подшипниковых узлов. В АД основного исполнения с высотами оси вращения 50–132 мм установлены подшипники типа 18000 с двумя резиновыми уплотнениями и заложеной на весь срок службы смазкой.

Двигатели больших высот оси вращения имеют подшипниковые узлы, обеспечивающие пополнение и частичную замену смазки без разборки АД и отсоединение его от приводимого механизма. Такая конструкция применяется также для всех специализированных исполнений по условиям окружающей среды.

В АД применены подшипники качения средней серии: с высотами оси вращения до 160 мм — оба подшипника шариковые, с высотами оси вращения свыше 160 мм — роликовый со стороны привода и шариковый с противоположной стороны. У АД фланцевого исполнения с высотами оси вращения 160–250 мм оба подшипника шариковые.

В АД основного исполнения применено бесконтактное целевое уплотнение, уплотняющее действие которого усилено двумя концентрическими жировыми канавками.

Двигатели специализированных исполнений по условиям окружающей среды имеют

комбинированное контактное уплотнение в виде войлочного кольца, подшипника и шелевого уплотнения с жировыми канавками на внутренней поверхности.

Вводное устройство. Для подключения АД к сети служит вводное устройство, расположенное на верху станины в АД с высотами оси вращения 50–250 мм и сбоку — в АД больших высот. Устройство допускает присоединение к АД гибкого металлического рукава и кабелей с медными или алюминиевыми жилами, с резиновой или пластмассовой оболочкой. Двигатели мощностью 30 кВт и выше при напряжении 220 В, а также АД с высотами оси вращения 50–53 мм допускают присоединение кабелей только с медными жилами. Ввод кабеля производят через один или два штуцера, а также через удлинитель под сухую разделку или заливку кабельной массой.

Конструкция вводного устройства позволяет разворачивать его корпус с фиксацией на 180°, при этом панель вместе с закрепленными на ней выводными концами обмотки статора остается неподвижной. Внутри вводного устройства предусмотрен заземляющий болт для подключения заземления или оболочки кабеля.

9.2.4. Асинхронные двигатели серии 4А основного исполнения

В табл. 9.6, 9.7 приведены технические данные АД серии 4А основного исполнения со степенью защиты IP44 и IP23. Габаритные, установочные и присоединительные размеры АД различного конструктивного исполнения приведены в табл. 9.8–9.16. Более подробные сведения о двигателях серии 4А см. в [2].

Таблица 9.6. Технические данные двигателей серии 4А, исполнение по степени защиты IP44, способ охлаждения ICA0141

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	cosφ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
Синхронная частота вращения 3000 об/мин								
4AA50A2Y3	0,09	8,6	60	0,7	2,2	2	1,2	5
4AA50B2Y3	0,12	9,7	63	0,7	2,2	2	1,2	5
4AA56A2Y3	0,18	8	66	0,76	2,2	2	1,2	5
4AA56B2Y3	0,25	8	68	0,77	2,2	2	1,2	5
4A63A2Y3	0,37	8,3	70	0,86	2,2	2	1,2	5
4A63B2Y3	0,55	8,5	73	0,86	2,2	2	1,2	5
4A71A2Y3	0,75	5,3	77	0,87	2,2	2	1,2	5,5
4A71B2Y3	1,1	6,3	77,5	0,87	2,2	2	1,2	5,5
4A80A2Y3	1,5	5	81	0,85	2,2	2	1,2	6,5
4A80B2Y3	2,2	5	83	0,87	2,2	2	1,2	6,5
4A90L2Y3	3	5,4	84,5	0,88	2,2	2	1,2	6,5
4A100S2Y3	4	4	86,5	0,89	2,2	2	1,2	7,5
4A100L2Y3	5,5	4	87,5	0,91	2,2	2	1,2	7,5
4A112M2Y3	7,5	2,6	87,5	0,88	2,2	2	1	7,5
4A132M2Y3	11	3,1	88	0,9	2,2	1,6	1	7,5
4A160S2Y3	15	2,3	88	0,91	2,2	1,4	1	7,5
4A160M2Y3	18,5	2,3	88,5	0,92	2,2	1,4	1	7,5
4A180S2Y3	22	2	88,5	0,91	2,2	1,4	1	7,5
4A180M2Y3	30	1,9	90,5	0,9	2,2	1,4	1	7,5
4A200M2Y3	37	1,9	90	0,89	2,2	1,4	1	7,5
4A200L2Y3	45	1,8	91	0,9	2,2	1,4	1	7,5
4A225M2Y3	55	2,1	91	0,92	2,2	1,2	1	7,5
4A250S2Y3	75	1,4	91	0,89	2,2	1,2	1	7,5
4A250M2Y3	90	1,4	92	0,9	2,2	1,2	1	7,5
4A280S2Y3	110	2	91	0,89	2,2	1,2	1	7
4A280M2Y3	132	2	91,5	0,89	2,2	1,2	1	7
4A315S2Y3	160	1,9	92	0,9	1,9	1	0,9	7
4A315M2Y3	200	1,9	92,5	0,9	1,9	1	0,9	7
4A355S2Y3	250	1,9	92,5	0,9	1,9	1	0,9	7
4A355M2Y3	315	2	93	0,91	1,9	1	0,9	7

Продолжение табл. 9.6

Типоразмер двигателя	Мощ- ность, кВт	Сколь- жение, %	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
-------------------------	--------------------	-----------------------	-----------	-------	---------------------------	-------------------------	---------------------------	-------------------------

Синхронная частота вращения 1500 об/мин

4AA50A4Y3	0,06	8,1	50	0,6	2,2	2	1,2	5
4AA50B4Y3	0,09	8,6	55	0,6	2,2	2	1,2	5
4AA56A4Y3	0,12	8	63	0,66	2,2	2	1,2	5
4AA56B4Y3	0,18	8,7	64	0,64	2,2	2	1,2	5
4AA63A4Y3	0,25	8	68	0,65	2,2	2	1,2	5
4AA63B4Y3	0,37	9	68	0,69	2,2	2	1,2	5
4A71A4Y3	0,55	8,7	70,5	0,70	2,2	2	1,6	4,5
4A71B4Y3	0,75	8,7	72	0,73	2,2	2	1,6	4,5
4A80A4Y3	1,1	6,7	75	0,81	2,2	2	1,6	5
4A80B4Y3	1,5	6,7	77	0,83	2,2	2	1,6	5
4A90L4Y3	2,2	5,4	80	0,83	2,2	2	1,6	6
4A100S4Y3	3	5,3	82	0,83	2,2	2	1,6	6,5
4A100L4Y3	4	5,3	84	0,84	2,2	2	1,6	6
4A112M4Y3	5,5	5	85,5	0,86	2,2	2	1,6	7
4A132S4Y3	7,5	3	87,5	0,86	2,2	2	1,6	7,5
4A132M4Y3	11	2,8	87,5	0,87	2,2	2	1,6	7,5
4A160S4Y3	15	2,7	89	0,88	2,2	1,4	1	7
4A160M4Y3	18,5	2,7	90	0,88	2,2	1,4	1	7
4A180S4Y3	22	2	90	0,9	2,2	1,4	1	7
4A180M4Y3	30	2	91	0,89	2,2	1,4	1	7
4A200M4Y3	37	1,7	91	0,9	2,2	1,4	1	7
4A200L4Y3	45	1,8	92	0,9	2,2	1,4	1	7
4A225M4Y3	55	2	92,5	0,9	2,2	1,2	1	7
4A250S4Y3	75	1,4	93	0,9	2,2	1,2	1	7
4A250M4Y3	90	1,3	93	0,91	2,2	1,2	1	7
4A280S4Y3	110	2,3	92,5	0,9	2	1,2	1	7
4A280M4Y3	132	2,3	93	0,9	2	1,2	1	6,5
4A315S4Y3	160	2	93,5	0,91	1,9	1	0,9	7
4A315M4Y3	200	1,7	94	0,92	1,9	1	0,9	7
4A355S4Y3	250	1,7	94,5	0,92	1,9	1	0,9	7
4A355M4Y3	315	1,7	94,5	0,92	1,9	1	0,9	7

Синхронная частота вращения 1000 об/мин

4AA63A6Y3	0,18	11,5	56	0,62	2,2	2	1,2	4
4AA63B6Y3	0,25	10,8	59	0,62	2,2	2	1,2	4
4A71A6Y3	0,37	8	64,5	0,69	2,2	2	1,6	4
4A71B6Y3	0,55	8	67,5	0,71	2,2	2	1,6	4
4A80A6Y3	0,75	8	69	0,74	2,2	2	1,6	4
4A80B6Y3	1,1	8	74	0,74	2,2	2	1,6	4
4A90L6Y3	1,5	6,4	75	0,74	2,2	2	1,6	5,5
4A100L6Y3	2,2	5,1	81	0,73	2,2	2	1,6	5,5
4A112MA6Y3	3	5,5	81	0,76	2,2	2	1,6	6
4A112MB6Y3	4	5,1	82	0,81	2,2	2	1,6	6
4A132S6Y3	5,5	4,1	85	0,8	2,2	2	1,6	7
4A132M6Y3	7,5	3,2	85,5	0,81	2,2	2	1,6	7
4A160S6Y3	11	3	86	0,86	2	1,2	1	6
4A160M6Y3	15	3	87,5	0,87	2	1,2	1	6
4A180M6Y3	18,5	2,7	88	0,87	2	1,2	1	6
4A200M6Y3	22	2,5	90	0,9	2	1,2	1	6,5
4A200L6Y3	30	2,3	90,5	0,9	2	1,2	1	6,5
4A225M6Y3	37	2	91	0,89	2	1,2	1	6,5

Продолжение табл. 9.6

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	cosφ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
4A250S6Y3	45	1,5	91,5	0,89	2	1,2	1	7
4A250M6Y3	55	1,5	92	0,88	2	1,2	1	7
4A280S6Y3	75	2	92	0,89	1,9	1,2	1	7
4A280M6Y3	90	2	92,5	0,89	1,9	1,2	1	7
4A315S6Y3	110	2	93	0,9	1,9	1	0,9	7
4A315M6Y3	132	2	93,5	0,9	1,9	1	0,9	7
4A355S6Y3	160	1,8	93,5	0,9	1,9	1	0,9	7
4A355M6Y3	200	1,8	94	0,9	1,9	1	0,9	7

Синхронная частота вращения 750 об/мин

4A71B8Y3	0,25	9,3	56	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5
4A80A8Y3	0,37	10	61,5	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5
4A80B8Y3	0,55	10	64	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5
4A90LA8Y3	0,75	6	68	0,62	1,7	1,6	1,2	3,5
4A90LB8Y3	1,1	7	70	0,68	1,7	1,6	1,2	3,5
4A100L8Y3	1,5	7	74	0,65	1,7	1,6	1,2	5,5
4A112MA8Y3	2,2	6	76,5	0,71	2,2	1,8	1,4	6
4A112MB8Y3	3	6,5	79	0,74	2,2	1,8	1,4	6
4A132S8Y3	4	4,1	83	0,7	2,2	1,8	1,4	6
4A132M8Y3	5,5	4,5	83	0,74	2,2	1,8	1,4	6
4A160S8Y3	7,5	2,7	86	0,75	2,2	1,4	1	6
4A160M8Y3	11	2,7	87	0,75	2,2	1,4	1	6
4A180M8Y3	15	2,6	87	0,82	2	1,2	1	6
4A200M8Y3	18,5	2,5	88,5	0,84	2,2	1,2	1	6
4A200L8Y3	22	2,7	88,5	0,84	2	1,2	1	6
4A225M8Y3	30	2	90	0,81	2	1,2	1	6
4A250S8Y3	37	1,6	90	0,83	2	1,2	1	6
4A250M8Y3	45	1,4	91,5	0,82	2	1,2	1	6
4A280S8Y3	55	2,2	92	0,84	1,9	1,2	1	6,5
4A280M8Y3	75	2,2	92,5	0,85	1,9	1,2	1	6,5
4A315S8Y3	90	2	93	0,85	1,9	1	0,9	6,5
4A315M8Y3	110	2	93	0,85	1,9	1	0,9	6,5
4A355S8Y3	132	2	93,5	0,85	1,9	1	0,9	6,5
4A355M8Y3	160	2	93,5	0,85	1,9	1	0,9	6,5

Синхронная частота вращения 600 об/мин

4A250S10Y3	30	1,9	88	0,81	1,9	1,2	1	6
4A250M10Y3	37	1,8	89	0,81	1,9	1,2	1	6
4A280S10Y3	37	2	91	0,78	1,8	1	1	6
4A280M10Y3	45	2	91,5	0,78	1,8	1	1	6
4A315S10Y3	55	2	92	0,79	1,8	1	0,9	6
4A315M10Y3	75	2	92	0,8	1,8	1	0,9	6
4A355S10Y3	90	2	92,5	0,83	1,8	1	0,9	6
4A355M10Y3	110	2	93	0,83	1,8	1	0,9	6

Синхронная частота вращения 500 об/мин

4A315S12Y3	45	2,5	90,5	0,75	1,8	1	0,9	6
4A315M12Y3	55	2,5	91	0,75	1,8	1	0,9	6
4A355S12Y3	75	2	91,5	0,76	1,8	1	0,9	6
4A355M12Y3	90	2	92	0,76	1,8	1	0,9	6

Таблица 9.7. Технические данные двигателей серии 4А, исполнение по степени защиты IP23, способ охлаждения ICA01

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	cosφ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
----------------------	---------------	---------------	--------	------	---------------------------	-------------------------	---------------------------	-------------------------

Синхронная частота вращения 3000 об/мин

4АН160S2Y3	22	2,8	88	0,88	2,2	1,3	1	7
4АН160M2Y3	30	2,9	90	0,91	2,2	1,3	1	7
4АН180S2Y3	37	1,8	91,5	0,89	2,2	1,2	1	7
4АН180M2Y3	45	1,9	91	0,91	2,2	1,3	1	7
4АН200M2Y3	55	2	91	0,9	2,2	1,3	1	7
4АН200L2Y3	75	2	92	0,9	2,2	1,3	1	7
4АН225M2Y3	90	2,4	92	0,88	2,2	1,2	1	7
4АН250S2Y3	110	1,6	93,5	0,88	2,2	1,2	1	7
4АН250M2Y3	132	1,9	93,5	0,9	2,2	1,2	1	7
4АН280S2Y3	160	1,4	94	0,9	2,2	1,2	1	6,5
4АН280M2Y3	200	1,4	94,5	0,9	2,2	1,2	1	6,5
4АН315M2Y3	250	1,3	94,5	0,91	1,9	1	0,9	6,5
4АН355S2Y3	315	1,1	94,5	0,92	1,9	1	0,9	6,5
4АН355M2Y3	400	1,1	95	0,92	1,9	1	0,9	6,5

Синхронная частота вращения 1500 об/мин

4АН160S4Y3	18,5	3,2	83,5	0,87	2,1	1,3	1	6,5
4АН160M4Y3	22	2,9	90	0,88	2,1	1,3	1	6,5
4АН180S4Y3	30	2,3	90	0,84	2,2	1,2	1	6,5
4АН180M4Y3	37	2,1	90,5	0,89	2,2	1,2	1	6,5
4АН200M4Y3	45	1,8	91	0,89	2,2	1,2	1	6,5
4АН200L4Y3	55	1,7	92	0,89	2,2	1,2	1	6,5
4АН225M4Y3	75	1,6	92,5	0,89	2,2	1,2	1	6,5
4АН250S4Y3	90	1,4	94	0,88	2,2	1,2	1	6,5
4АН250M4Y3	110	1,5	93,5	0,89	2,2	1,2	1	6,5
4АН280S4Y3	132	2	93	0,89	2	1,2	1	6
4АН280M4Y3	160	2	93,5	0,9	2	1,2	1	6
4АН315S4Y3	200	1,8	94	0,91	2	1,2	0,9	6
4АН315M4Y3	250	1,8	94	0,91	2	1,2	0,9	6,5
4АН355S4Y3	315	1,2	94,5	0,91	2	1,2	0,9	6
4АН355M4Y3	400	1,2	94,5	0,91	2	1,2	0,9	6,5

Синхронная частота вращения 1000 об/мин

4АН180S6Y3	18,5	2,5	87	0,85	2	1,2	1	6
4АН180M6Y3	22	2,4	88,5	0,87	2	1,2	1	6
4АН200M6Y3	30	2,3	90	0,88	2	1,2	1	6
4АН200L6Y3	37	1,9	90,5	0,88	2	1,2	1	6,5
4АН225M6Y3	45	2	91	0,87	2	1,2	1	6,5
4АН250S6Y3	55	1,4	92,5	0,86	2	1,2	1	6,5
4АН250M6Y3	75	1,5	93	0,87	2	1,2	1	7
4АН280S6Y3	90	2,2	92,5	0,89	2	1,2	1	6

Продолжение табл. 9.7

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	cosφ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
4АН280М6У3	110	2,2	92,5	0,89	2	1,2	1	6
4АН315S6У3	132	1,8	93	0,89	1,9	1,2	0,9	6
4АН315М6У3	160	1,8	93,5	0,89	1,9	1,2	0,9	6
4АН355S6У3	200	1,6	94	0,9	1,9	1,2	0,9	6,5
4АН355М6У3	250	1,6	94	0,9	2	1,2	0,9	6,5

Синхронная частота вращения 750 об/мин

4АН180S8У3	15	2,6	86,0	0,8	1,9	1,2	1	5,5
4АН180М8У3	18,5	2,7	87,5	0,8	1,9	1,2	1	5,5
4АН200М8У3	22	2,6	89	0,84	1,9	1,2	1	5,5
4АН200L8У3	30	2,3	89,5	0,82	1,9	1,2	1	5,5
4АН225М8У3	37	2	90	0,81	1,9	1,2	1	5,5
4АН250S8У3	45	1,5	91	0,81	1,9	1,2	1	5,5
4АН250М8У3	55	1,6	92	0,81	1,9	1,2	1	6
4АН280S8У3	75	2,5	92	0,85	1,9	1,2	1	5,5
4АН280М8У3	90	2,5	92,5	0,86	1,9	1,2	1	5,5
4АН315S8У3	110	2	93	0,86	1,9	1,2	0,9	5,5
4АН315М8У3	132	2	93,5	0,86	1,9	1,2	0,9	5,5
4АН355S8У3	160	1,8	93,5	0,86	1,9	1,1	0,9	5,5
4АН355М8У3	200	1,8	94	0,86	1,9	1,1	0,9	5,5

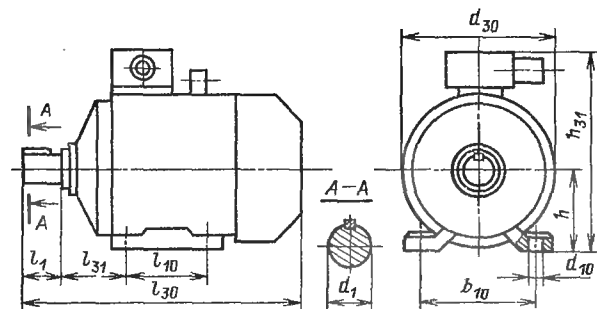
Синхронная частота вращения 600 об/мин

4АН280S10У3	45	2,8	90	0,81	1,8	1	1	5
4АН280М10У3	55	2,8	90,5	0,81	1,8	1	1	5
4АН315S10У3	75	2,2	91	0,82	1,8	1	0,9	5,5
4АН315М10У3	90	2,2	91,5	0,82	1,8	1	0,9	5,5
4АН355S10У3	110	1,8	92	0,83	1,8	1	0,9	5,5
4АН355М10У3	132	1,8	92,5	0,83	1,8	1	0,9	5,5

Синхронная частота вращения 500 об/мин

4АН315S12У3	55	2,5	90,5	0,78	1,8	1	0,9	5,5
4АН315М12У3	75	2,5	91	0,78	1,8	1	0,9	5,5
4АН355S12У3	90	2,2	91,5	0,77	1,8	1	0,9	5,5
4АН355М12У3	110	2,2	92	0,77	1,8	1	0,9	5,5

Таблица 9.8. Габаритные установочные и присоединительные размеры двигателей серии 4А, исполнение 1М 1081, степень защиты IP44, IP54, $h = 50 \div 250$ мм

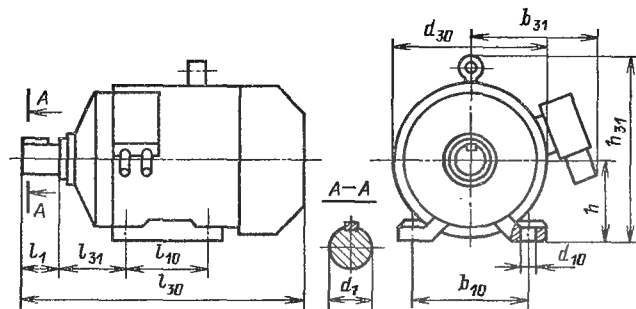


Типо-размер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм							Масса, кг
		l_{30}	h_{31}	d_{30}	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	d_{10}	b_{10}	h	
4AA50	2, 4 *	176	142	112	20	63	32	9	5,8	80	50	3,3
4AA56	2, 4	194	152	128	23	71	36	11	5,8	90	56	4,5
4AA63	2, 4, 6	216	164	138	30	80	40	14	7	100	63	6,3
4A71	2, 4, 6, 8	285	$\frac{201^*}{223}$	170	40	90	45	19	7	112	71	15,1
4A80A	2, 4, 6, 8	300	$\frac{218^*}{240}$	186	50	100	50	22	10	125	80	17,5
4A80B	2, 4, 6, 8	320										20,0
4A90L	2, 4, 6, 8	350	$\frac{243^*}{260}$	208		125	56	24	10	140	90	28,7
4A100S	2, 4, 6, 8	365	265	235	60	112	63	28	12	160	100	36
4A100L	2, 4, 6, 8	395	280			140						42
4A112M	2, 4, 6, 8	452	310	260	80	140	70	32	12	190	112	56
4A132S	4, 6, 8	480	350	302			178	89		38	216	132
4A132M	2, 4, 6, 8	530				93						

Типо- размер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм							Масса, кг
		l_{30}	h_{31}	d_{30}	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	d_{10}	b_{10}	h	
4A160S	2	624	430	358	110	178	108	42	15	254	160	130
	4, 6, 8							48				135
4A160M	2	667	430	358	110	210	108	42	15	254	160	145
	4, 6, 8							48				160
4A180S	2	662	470	410	110	203	121	48	15	279	180	165
	4, 6, 8							55				175
4A180M	2	702	470	410	110	241	121	48	15	279	180	185
	4, 6, 8							55				195
4A200M	2	760	535	450	140	267	133	60	19	318	200	270
	4, 6, 8	790						60				280
4A200L	2	800	535	450	110	305	133	55	19	318	200	280
	4, 6, 8	830			140	305	133	60				310
4A225M	2	810	575	494	110	311	149	55	19	356	225	355
	4, 6, 8	840			110	311	149	65				355
4A250S	2	915	640	554	140	349	168	75	24	406	250	470
	4, 6, 8							75				490
4A250M	2	955	640	554	140	349	168	65	24	406	250	510
	4, 6, 8							75				535

* В знаменателе указан размер для двигателей с числом выводных концов более шести.

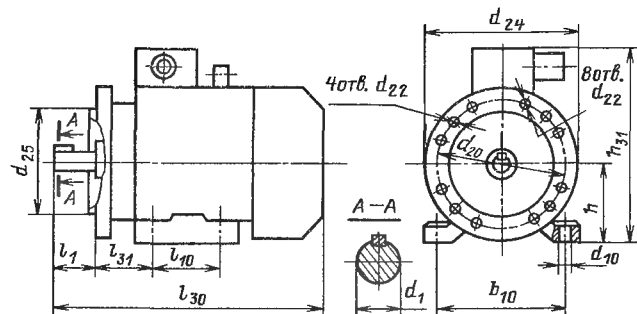
Таблица 9.9. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии 4А, исполнение IM 1001, степень защиты IP44, IP54 ($h = 280 \div 355$ мм)



Типоразмер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм				Установочные и присоединительные размеры, мм							Масса, кг
		l_{30}	h_{31}	d_{30}	b_{31}	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	d_{10}	b_{10}	h	
4A280S	2	1140	$\frac{700^*}{722}$	660	535	140	368	190	70	24	457	280	785
	4, 6, 8, 10	1170				170			80				
4A280M	2	1180	$\frac{700^*}{722}$	660	535	140	419	190	70	24	457	280	835
	4, 6, 8, 10	1210				170			80				
4A315S	2	1225	765	690	540	140	406	216	75	28	508	315	875
	4, 6, 8, 10, 12	1255				170			90				
4A315M	2	1285	765	710	540	140	457	216	75	28	508	315	1100
	4, 6, 8, 10, 12	1315				170			90				
4A355S	2	1350	855	795	610	170	500	254	85	610	610	355	1355
	4, 6, 8, 10, 12	1400				210			100				
4A355M	2	1410	855	795	610	170	560	254	85	610	610	355	1570
	4, 6, 8, 10, 12	1450				210			100				

* См. примечание к табл. 9.8.

Таблица 9.10. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии 4А, исполнение IM 2081, степень защиты IP44, IP54 ($h = 50 \div 250$ мм)

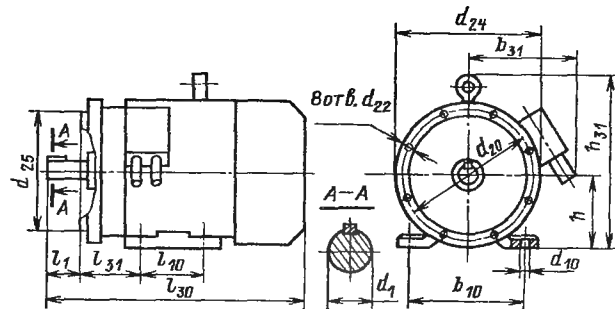


Типо-размер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм										Число отверстий d_{22}	Масса, кг
		l_{30}	h_{31}	d_{24}	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	d_{10}	d_{20}	d_{22}	d_{25}	b_{10}	h		
4AA50	2, 4	174	142	120	20	63	32	9	5,8	100	7	80	80	50	4	3,4
4AA56	2, 4	194	152	140	23	71	36	11		115	10	95	90	56		4,6
4AA63	2, 4, 6	216	164	160	30	80	40	14	7	130		110	100	63		6,1
4A71	2, 4, 6, 8	285	$\frac{201^*}{223}$	200	40	90	45	19		165	12	130	112	71		16,1
4A80A	2, 4, 6, 8	300	218		50	100	50	22	10				125	80		18,8
4A80B	2, 4, 6, 8	320		250		125	56	24		215	15	180	140	90		21,3
4A90L	2, 4, 6, 8	350	$\frac{243^*}{260}$		60	112	63	28	12				265	230		190
4A100S	2, 4, 6, 8	365	265							44,2						
4A100L	2, 4, 6, 8	395	280	60												
4A112M	2, 4, 6, 8	452	310		300	80	140	70	32	12	265	230	190	112		60

4A132S	4, 6, 8	480	350	350	80	140	89	38		300		250	216	132		84
4A132M	2, 4, 6, 8	530				178										100
4A160S	2	624	430		110		108	42	15				254	160		135
	4, 6, 8							48								140
4A160M	2	667						42								150
	4, 6, 8							48								165
4A180S	2	662	470	400			121	48		350	19		300	279	180	175
	4, 6, 8							55								185
4A180M	2	702						48								195
	4, 6, 8							241								205
4A200M	2	760	535	450		140		267		400			350	318	200	270
	4, 6, 8	790						60								285
4A200L	2	800				110		305	19,0							295
	4, 6, 8	830				140		60								325
4A225M	2	810	575			110		149						356	225	375
	4, 6, 8	840				140										355
4A250S	2	915		550			311	65		500			450			495
	4, 6, 8							75								515
4A250M	2	955	640		140		349	65	24,0		1		406	250		535
	4, 6, 8							75								560

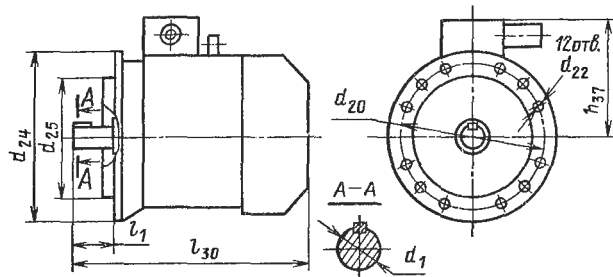
* См. сноску к табл. 9.8.

Таблица 9.11. Габаритные, установочные и присоединительные размеры
двигателей серии 4А, исполнение IM 2001, степень защиты
IP44, IP54 ($h = 280 \div 355$ мм)



Типо- размер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм				Установочные и присоединительные размеры, мм										Масса, кг
		l_{30}	h_{31}	d_{24}	b_{31}	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	d_{10}	d_{20}	d_{22}	d_{25}	b_{10}	h	
4A280S	2	1140	700/722*	660	535	140	368	190	70	24	600	550	457	280	810	
	4, 6, 8, 10	1170				170			80							
4A280M	2	1180				140	419		70							80
	4, 6, 8, 10	1210				170			80							
4A315S	2	1235	765	660	540	140	406	216	75	28	740	680	610	355	1005	
	4, 6, 8, 10, 12	1266				170			90							
4A315M	2	1285				140	457		75							90
	4, 6, 8, 10, 12	1315				170			90							
4A355S	2	1350	855	800	610	210	500	254	85	740	680	610	355	1375		
	4, 6, 8, 10, 12	1400				210			100							
4A355M	2	1410				170	85		100							
	4, 6, 8, 10, 12	1450				210	100									

* В знаменателе указан размер для стальной сварной станины.

Таблица 9.12. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии 4А, исполнение ИМ 3081, ИМ 3011, ИМ 3031, степень защиты IP44, IP54 ($h = 50 \div 280$ мм)

Типо- размер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм					Масса, кг	
		l_{30}	h_{37}	d_{24}	l_1	d_1	d_{20}	d_{22}	d_{25}		
4AA50	2, 4	174	92	120	20	9	100	7	80	3,2	
4AA56	2, 4	194	96	140	23	11	115	10	95	4,4	
4AA63	2, 4, 6	216	101	160	30	14	130		110	6,0	
4A71	2, 4, 6, 8	285	$\frac{130^*}{152}$	200	40	19	165	12	130	15,7	
4A80A	2, 4, 6, 8	300	$\frac{138^*}{160}$		50	22				15	18,3
4A80B	2, 4, 6, 8	320									20,8
4A90L	2, 4, 6, 8	350	$\frac{153^*}{170}$	250	60	24	215	15	180	30,0	
4A100S	2, 4, 6, 8	365	$\frac{165^*}{180}$			28				15	37,0
4A100L	2, 4, 6, 8	395			42,8						
4A112M	2, 4, 6, 8	452	198	300	80	32	265		230	58	

Продолжение табл. 9.12

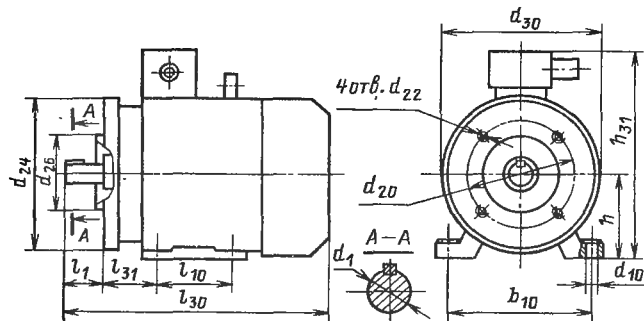
Типо- размер двигателя	Число полосов	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм					Масса, кг
		l_{30}	h_{37}	d_{24}	l_1	d_1	d_{20}	d_{22}	d_{25}	
4A132S	4, 6, 8	480	218	350	80	38	300	19	250	82
4A132M	2, 4, 6, 8	530								97
4A160M	2	667	270	350	110	42				145
	4, 6, 8					48				160
4A160S	2	624				42				130
	4, 6, 8					48				135
4A180S	2	662	290	400	110	48	350	19	300	170
	4					55				180
4A180M	2	702				48				190
	4, 6, 8					55				200
4A200M	2	760	335	450	140	60	400		350	260
	4, 6, 8	790								275
4A200L	2	800			110	55				285
	4, 6, 8	830			140	60				315

Продолжение табл. 9.12

Типо- размер двигателя	Число полусов	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм					Масса, кг		
		l_{30}	h_{37}	d_{24}	l_1	d_1	d_{20}	d_{22}	d_{25}			
4A225M	2	810	350	550	110	55	500			360		
	4, 6, 8	840				65					340	
4A250S	2	915	390	550		140	65	500	19	450	485	
	4, 6, 8				75						505	
4A250M	2	955						65	500			525
	4, 6, 8							75				
4A280S	2	1175	520	660	170	70	600	24	550	780		
	4, 6, 8	1205				80						
4A280M	2	1215					140	70				830
	4, 6, 8	1245					170	80				

* См. сноску к табл. 9.8.

Таблица 9.13. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии 4А, исполнение IM 2181, степень защиты IP44, IP54 ($h = 50 \div 90$ мм)

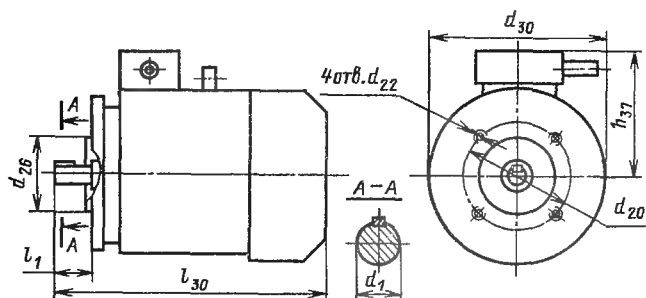


Типо- размер двигате- ля	Габаритные размеры, мм				Установочные и присоединительные размеры, мм										Масса, кг
	Число полюсов	l_{30}	d_{30}	h_{31}	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	d_{10}	d_{20}	d_{22}	d_{26}	b_{10}	h	
4AA50	2, 4	174	112	142	20	63	32	9	5,8	50/75	M5	40/60	80	50	3,3
4AA56	2, 4	194	128	152	23	71	36	11		65/85	$\frac{M5}{M6}$	50/70	90	56	4,5
4AA63	2, 4, 6	216	138	164	30	80	40	14	7	75/100	$\frac{M5}{M6}$	60/80	100	63	6
4A71	2, 4, 6, 8	285	170	$\frac{201^*}{223}$	40	90	45	19		115	M8	95	112	71	15,6
4A80A	2, 4, 6, 8	300	186	$\frac{218^*}{240}$	50	100	50	22	10	130		110	125	80	18
4A80B	2, 4, 6, 8	320						20,5							
4A90L	2, 4, 6, 8	350	208	$\frac{243^*}{260}$			125	56					24	140	90

* См. сноску к табл. 9.8.

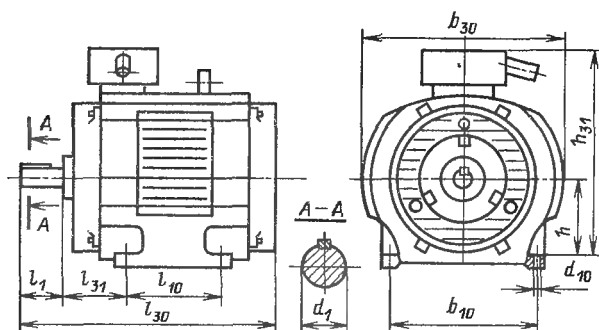
Примечание. Двигатели с размерами, указанными в знаменателе, изготавливаются только по заказу потребителя.

Таблица 9.14. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии 4А, исполнение IM 3681, степень защиты IP44, IP54 ($h = 50 \div 100$ мм)



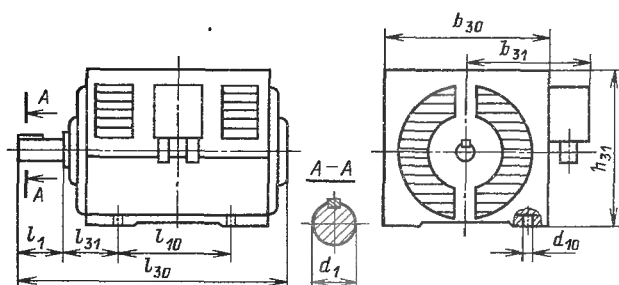
Типо- размер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм						Масса, кг
		<i>l</i> ₃₀	<i>d</i> ₃₀	<i>h</i> ₃₇	<i>l</i> ₁	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂₀	<i>d</i> ₂₂	<i>d</i> ₂₆	<i>d</i>	
4AA50	2, 4	174	112	92	20	9	$\frac{55}{75}$	M5	40/60	11	3,1
4AA56	2, 4	194	128	96	23	11	$\frac{65}{85}$	M5 M6	50/70		4,3
4AA63	2, 4, 6	216	138	101	30	14	$\frac{75}{100}$		60/80		6,1
4A71	2, 4, 6, 8	285	170	$\frac{130}{152}$	40	19	115	M8	95	17	15,2
4A80A	2, 4, 6, 8	300	186	$\frac{138}{160}$	50	22	130		110		17,5
4A80B	2, 4, 6, 8	320				20					
4A90L	2, 4, 6, 8	350				208					$\frac{153}{170}$
4A100S	2, 4, 6, 8	365	235	$\frac{165}{180}$	60	28	165	M10	130	20,5	36,2
4A100L	2, 4, 6, 8	395									42

Таблица 9.15. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии 4А, исполнение ИМ 1001, степень защиты IP23 ($h = 160 \div 250$ мм)



Типоразмер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм							Масса, кг					
		<i>l</i> ₃₀	<i>h</i> ₃₁	<i>b</i> ₃₀	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₁₀	<i>l</i> ₃₁	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₁₀	<i>b</i> ₁₀	<i>h</i>						
4АН160S	2	533	430	332	110	178	108	42	15	254	160	110					
	4							48				115					
4АН160M	2	588				210		42				130					
	4							135									
4АН180S	2	580	470	385		203	121	48		279	180	170					
	4, 6, 8							55									
4АН180M	2	620				241		48				185					
	4, 6, 8							55				190					
4АН200M	2	665				535	460	267	133				19	318	200	265	
	4, 6, 8											695				140	60
4АН200L	2	705						110				305				55	295
	4, 6, 8							735								140	60
4АН225M	2	715	580	500	110			149	55	356	225	355					
	4, 6, 8				745				140					65			
4АН250S	2	805	640	550	140			311	168		24	406		250	465		
	4, 6, 8														75	445	
4АН250M	2	845				349		65	505								
	4, 6, 8								75	495							

Таблица 9.16. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии 4А, исполнение IM 1001, степень защиты IP23 ($h = 280 \div 355$ мм)



Типоразмер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм				Установочные и присоединитель- ные размеры, мм				
		l_{30}	h_{31}	b_{30}	b_{31}	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	d_{10}
4АН280S	2	935	575	620	465	140	368	190	70	24
	4, 6, 8	965				170			80	
4АН280M	2	975				140	419		70	
	4, 6, 8	1005				170			80	
4АН315S	4, 6, 8, 10, 12	1000	630	672	500		406	216	90	28
4АН315M	2	1020				140	457		75	
	4, 6, 8, 10, 12	1050				170			90	
4АН355S	2	1165				710	750		538	
	4, 6, 8, 10, 12	1205	210	100						
4АН355M	2	1225	170	560	85					
	4, 6, 8, 10, 12	1265	210		100					

9.2.5. Двигатели серии 4А

с повышенным пусковым моментом (4АР)

Двигатели с повышенным пусковым моментом предназначены для привода механизмов, имеющих большие статические и инерционные нагрузки в момент пуска. Они выпускаются в диапазоне высот оси вращения 160–250 мм с синхронной частотой вращения 1500, 1000, 750 об/мин и соответствуют требованиям ГОСТ 20818-75.

По шкале мощностей, шкале установочных размеров и их взаимной увязке АД

соответствуют основному исполнению и унифицированы с соответствующими типоразмерами основного исполнения по всем элементам и главным размерам активной части и размерам пазов статора. Ротор имеет залитую алюминием двойную короткозамкнутую клетку, обеспечивающую повышение пускового момента и снижение пускового тока. Двигатели обозначаются дополнительной буквой Р после обозначения серии: 4АР. Технические данные двигателей 4АР приведены в табл. 9.17.

Таблица 9.17. Технические данные двигателей серии 4А с повышенным пусковым моментом (4АР)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Ток статора, А, при $U = 380$ В	КПД, %	$\cos \varphi$	$\frac{I_p}{I_{ном}}$	$\frac{M_p}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Момент инерции, кг · м ²
Синхронная частота вращения 1500 об/мин										
4AP160S4Y3	15	1465	29,6	87,5	0,87	7,5	2	1,6	2,2	0,1
4AP160M4Y3	18,5	1465	36,1	88,5	0,87	7,5	2	1,6	2,2	0,13
4AP180S4Y3	22	1460	42,2	90	0,87	7,5	2	1,6	2,2	0,19
4AP180M4Y3	30	1460	57,5	90	0,87	7,5	2	1,6	2,2	0,23
4AP200M4Y3	37	1470	69,5	91	0,88	7,5	2	1,6	2,2	0,37
4AP200L4Y3	45	1470	83,5	92	0,88	7,5	2	1,6	2,2	0,45
4AP225M4Y3	55	1475	101	92,5	0,88	7	2	1,6	2,2	0,64
4AP250S4Y3	75	1475	139	93	0,87	7,5	2	1,6	2,2	1,02
4AP250M4Y3	90	1475	165	93	0,88	7,5	2	1,6	2,2	1,2

Синхронная частота вращения 1000 об/мин

4AP160S6Y3	11	975	23,5	85,5	0,83	7	2	1,6	2,2	0,14
4AP160M6Y3	15	975	31,4	87,5	0,83	7	2	1,6	2,2	0,18
4AP180M6Y3	18	970	40,4	87	0,80	6	2	1,6	2,2	0,22
4AP200M6Y3	22	975	43,4	90,5	0,85	6,5	2	1,6	2,2	0,4
4AP200L6Y3	30	975	58,5	90,5	0,86	6,5	2	1,6	2,2	0,45
4AP225M6Y3	37	980	73,8	90,5	0,84	7	2	1,6	2,2	0,74
4AP250S6Y3	45	980	91	91,5	0,82	6,5	2	1,6	2,2	1,15
4AP250M6Y3	55	980	110	91,5	0,83	6,5	2	1,6	2,2	1,26

Синхронная частота вращения 750 об/мин

4AP160S8Y3	7,5	730	17,6	86	0,75	6	1,8	1,5	2	0,14
4AP160M8Y3	11	730	25,6	87	0,75	6	1,8	1,5	2	0,18
4AP180M8Y3	15	730	34,2	86,5	0,77	5,5	1,8	1,5	2	0,25
4AP200M8Y3	18,5	730	41	88	0,78	5,5	1,8	1,5	2	0,4
4AP200L8Y3	22	730	47,3	88,5	0,8	5,5	1,8	1,5	2	0,45
4AP225M8Y3	30	735	63,4	90	0,8	5,5	1,8	1,5	2	0,74
4AP250S8Y3	37	735	87	90	0,72	5,5	1,8	1,5	2	1,15
4AP250M8Y3	45	735	101	90,5	0,75	5,5	1,8	1,5	2	1,36

9.2.6. Двигатели серии 4А с повышенным скольжением (4АС)

Двигатели с повышенным скольжением предназначены для привода механизмов с пульсирующей нагрузкой, а также механизмов, работающих в повторно-кратковременном режиме S3 и перемежающемся S6 по ГОСТ 183-74. Возможно их использование в режимах S2 и S4. Двигатели выпускаются в диапазоне высот оси вращения 71–250 мм с синхронной частотой вращения 3000, 1500, 1000, 750 об/мин. Они соответствуют ОСТ 16 0.510.026-76.

Двигатели унифицированы с основным исполнением двигателей 4А со степенью защиты IP44. Ротор залит специальным сплавом повышенного сопротивления и для высот оси вращения более 112 мм имеет уменьшенное сечение стержней. Двигатели обозначаются дополнительной буквой С после обозначения серии. Технические данные двигателей 4АС относятся к повторно-кратковременному режиму с продолжительностью включения ПВ = 40% и приведены в табл. 9.18. Мощности двигателей в режимах с отличной от 40% продолжительностью включения приведены в табл. 9.19.

Таблица 9.18. Технические данные двигателей серии 4А с повышенным скольжением (4АС) при ПВ = 40%

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт, при ПВ = 40%	Скольжение, %	Частота вращения, об/мин	Ток статора, А, при U = 380 В	КПД, %	cos φ	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\min}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$	Момент инерции, 10 ⁻² кг·м ²
----------------------	-----------------------------	---------------	--------------------------	-------------------------------	--------	-------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--

Синхронная частота вращения 3000 об/мин

4AC71A2Y3	1	10	2700	2,4	72	0,87	5,5	2	1,6	2,2	0,098
4AC71B2Y3	1,2	10	2700	3	72	0,83	5,5	2	1,6	2,2	0,105
4AC80A2Y3	1,9	8,5	2745	4,4	75	0,87	6,5	2	1,6	2,2	0,18
4AC80B2Y3	2,5	8,5	2745	5,7	76	0,87	6,5	2	1,6	2,2	0,212
4AC90L2Y3	3,5	7,5	2775	7,7	80	0,86	6,5	2	1,6	2,2	0,35
4AC100S2Y3	4,8	6,5	2805	10,3	82	0,86	7,5	2	1,6	2,2	0,59
4AC100L2Y3	6,3	6,5	2805	13,4	82	0,86	7,5	2	1,6	2,2	0,75
4AC112M2Y3	8	5	2850	17,2	84	0,84	7,5	2	1,6	2,4	1
4AC132M2Y3	11	5,5	2840	24	84	0,89	7,5	2	1,6	2,4	1,25

Синхронная частота вращения 1500 об/мин

4AC71A4Y3	0,6	10	1350	1,8	68	0,73	4,5	2	1,6	2,2	0,13
4AC71B4Y3	0,8	10	1350	2,4	68,5	0,75	4,5	2	1,6	2,2	0,14
4AC80A4Y3	1,3	9,5	1358	3,5	68,5	0,82	5	2	1,6	2,2	0,32
4AC80B4Y3	1,7	11	1335	4,5	70	0,82	5	2	1,6	2,2	0,33
4AC90L4Y3	2,4	9,5	1360	5,9	76	0,82	6	2	1,6	2,2	0,56
4AC100S4Y3	3,2	7	1395	7,8	76,5	0,82	6	2	1,6	2,2	0,87
4AC100L4Y3	4,25	7	1395	10,1	78	0,82	6	2	1,6	2,2	1,12
4AC112M4Y3	5,6	7	1395	13	79	0,83	7	2	1,6	2,2	1,66
4AC132S4Y3	8,5	7,5	1395	18,4	82,5	0,85	7	2,6	1,6	2,8	2,83
4AC132M4Y3	11,8	6	1410	25	84	0,85	7	2	1,6	2,2	4
4AC160S4Y3	17	5	1425	33,3	84,5	0,86	7	2	1,6	2,2	10,25
4AC160M4Y3	20	4,5	1432	37,6	87	0,87	7	2	1,6	2,2	12,75
4AC180S4Y3	21	5,5	1418	40,3	86	0,92	7	2	1,6	2,2	19
4AC180M4Y3	26,5	4	1440	50	88,5	0,91	7	2	1,6	2,2	23,25
4AC200M4Y3	31,5	6	1410	59,4	87,5	0,92	7	2	1,6	2,2	37
4AC200L4Y3	40	6	1410	73,5	89	0,93	7	2	1,6	2,2	47
4AC225M4Y3	50	7	1395	94,3	87,5	0,92	7	2	1,6	2,2	64
4AC250S4Y3	56	8	1380	106	87,5	0,92	7	2	1,6	2,2	102
4AC250M4Y3	63	9	1365	118	87,0	0,93	7	2	1,6	2,2	1,17

Синхронная частота вращения 1000 об/мин

4AC71A6Y3	0,4	8	920	1,4	62,5	0,70	4	2	1,6	2,1	0,17
4AC71B6Y3	0,63	8	920	2,2	65	0,70	4	2	1,6	2,1	0,2
4AC80A6Y3	0,8	14	860	2,9	61	0,68	4	2	1,6	2,1	0,25
4AC80B6Y3	1,2	14	860	3,7	66,5	0,73	4	2	1,6	2,1	0,35
4AC90L6Y3	1,7	10	900	5	71	0,72	6	1,9	1,6	2,1	0,73
4AC100L6Y3	2,6	8	920	6,9	75	0,76	6	1,9	1,6	2,1	1,31
4AC112MA6Y3	3,2	9	910	9,1	72	0,74	6,5	1,9	1,6	2,1	1,72
4AC112MB6Y3	4,2	9	910	10,8	75	0,79	6,5	1,9	1,6	2,1	2,11
4AC132S6Y3	6,3	6	940	15,1	79	0,8	6,5	1,9	1,5	2,1	4
4AC132M6Y3	8,5	6	940	20,2	80	0,8	6,5	1,9	1,5	2,1	5,75
4AC160S6Y3	12	6	940	26	82,5	0,85	6,5	1,9	1,5	2,1	14,25
4AC160M6Y3	16	6	940	36,1	84	0,85	6,5	1,9	1,5	2,1	18,25
4AC180M6Y3	19	6	940	39,9	84,5	0,9	6,5	1,9	1,5	2,1	22
4AC200M6Y3	22	9	910	43,5	83,5	0,92	6,5	1,9	1,5	2,1	40
4AC200L6Y3	28	8	920	54,6	85,5	0,91	6,5	1,9	1,5	2,1	45
4AC225M6Y3	33,5	12	880	69	81	0,91	6,5	1,9	1,5	2,1	74
4AC250S6Y3	40	5	950	75,8	89	0,9	6,5	1,9	1,5	2,1	116
4AC250M6Y3	45	5	950	90	86,5	0,88	6,5	1,9	1,5	2,1	126

Продолжение табл. 9.18

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт, при ПВ = 40%	Скольжение, %	Частота вращения, об/мин	Ток статора, А, при $U = 380$ В	КПД, %	$\cos\varphi$	$\frac{I_p}{I_{ном}}$	$\frac{M_p}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Момент инерции, 10^{-2} кг·м ²
Синхронная частота вращения 750 об/мин											
4AC71B8Y3	0,3	11	670	1,5	50	0,61	3,5	1,9	1,6	2	0,185
4AC80A8Y3	0,45	12	660	2,1	53,5	0,61	3,5	1,9	1,6	2	0,34
4AC80B8Y3	0,6	12	660	2,5	58	0,63	3,5	1,9	1,6	2	0,41
4AC90LA8Y3	0,9	12	660	3,4	61	0,65	3,5	1,8	1,6	2	0,68
4AC90LB8Y3	1,2	12	660	4,4	65	0,64	3,5	1,8	1,6	2	0,86
4AC100L8Y3	1,6	10	675	5,7	69	0,63	5,5	1,8	1,6	2	1,3
4AC112MA8Y3	2,2	10,5	670	7,56	68	0,65	6	1,8	1,6	2	1,75
4AC112MB8Y3	3,2	10,5	670	9,66	72	0,70	6	1,8	1,6	2	2,4
4AC132S8Y3	4,5	8	690	12,9	76	0,70	6	1,8	1,6	2	4,25
4AC132M8Y3	6	8	690	16,9	77	0,70	6	1,8	1,6	2	5,8
4AC160S8Y3	9	8	690	21,0	81,5	0,80	6	1,8	1,5	2	13,75
4AC160M8Y3	12,5	9	688	29,2	82,5	0,79	6	1,8	1,5	2	17
4AC180M8Y3	15	7	700	32	83,5	0,83	6	1,8	1,5	2	25
4AC200M8Y3	20	8	690	43	83,5	0,85	6	1,8	1,5	2	40
4AC225M8Y3	26,5	10	675	57,3	83	0,85	6	1,8	1,5	2	74
4AC250S8Y3	36	7,5	694	76	85	0,85	6	1,8	1,5	2	113

Таблица 9.19. Значения мощности, кВт, двигателей серии 4А с повышенным скольжением (4AC) в режиме S3 при различных ПВ

Типоразмер двигателя	Синхронная частота вращения, об/мин															
	3000				1500				1000				750			
	Продолжительность включения ПВ, %															
	15	25	60	100	15	25	60	100	15	25	60	100	15	25	60	100
4AC71A	1,2	1,06	0,95	0,85	0,8	0,65	0,6	0,6	0,45	0,4	0,4	0,4	—	—	—	—
4AC71B	1,5	1,3	1,1	0,9	1,1	0,9	0,8	0,7	0,8	0,65	0,65	0,5	0,35	0,3	0,3	0,2
4AC80A	2,4	1,9	1,7	1,5	1,6	1,3	1,1	0,95	1	0,9	0,7	0,5	0,55	0,5	0,45	0,35
4AC80B	3,2	2,7	2,2	2	2,1	1,7	1,5	1,3	1,5	1,3	1,1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
4AC90LA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,1	0,9	0,8	0,7
4AC90LB	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,4	1,2	1	0,8
4AC90L	4,6	4	3,2	2,7	3,1	2,4	2,2	1,9	2,2	1,8	1,3	1,1	—	—	—	—
4AC100S	5,5	5	4,2	3,6	4	3,7	2,8	2,3	—	—	—	—	—	—	—	—
4AC100L	8	7	5,8	5,3	5,5	5	3,8	3,3	3,1	2,9	2,2	1,8	1,8	1,6	1,5	1,2
4AC112MA	—	—	—	—	—	—	—	—	4,5	3,8	2,8	2,5	3	2,6	1,9	1,5
4AC112MB	11	9,5	7,1	6	8	6,7	5	4,2	5,6	5	3,8	3,2	4,2	3,6	2,5	1,9
4AC132S	—	—	—	—	11,8	9,5	7,5	7,1	8,5	7,5	6	4,5	6	5	3,6	2,6
4AC132M	17	14	11	10	16	14	10,5	9	11	10	7,5	6,3	8,5	7,1	5	3,6
4AC160S	—	—	—	—	22	19	15	13	16	14	11	10	11	10	8	7
4AC160M	—	—	—	—	25	23	18,5	17	21	19	15	13	16	14	11	10
4AC180S	—	—	—	—	26,5	24	20	19	—	—	—	—	—	—	—	—
4AC180M	—	—	—	—	32	30	25	24	22	20	17	16	19	17	14	13
4AC200M	—	—	—	—	42	35	28	26	28	25	20	18	26,5	24	19	16
4AC200L	—	—	—	—	50	47,5	37,5	35	40	33	25	23	—	—	—	—
4AC225M	—	—	—	—	63	55	45	40	40	35	28	25	33,5	30	24	22
4AC250S	—	—	—	—	75	63	53	50	56	45	36	33,5	45	45	30	26,5
4AC250M	—	—	—	—	80	71	60	56	60	53	40	36	—	—	—	—

9.2.7. Многоскоростные двигатели серии 4А

Двигатели предназначены для привода механизмов, требующих ступенчатого регулирования частоты вращения. Двигатели имеют степень защиты IP44, соответствуют требованиям ОСТ 16 0.510.038-78. Двигатели выпускаются со следующими высотами оси вращения:

Синхронная частота вращения, об/мин	Высота оси вращения, мм
1500/3000	56—250
750/1500	90—355
1000/1500	90—200
750/1000	100—250
500/1000	180—355
1000/1500/3000	100—160

750/1500/3000	100—160
750/1000/1500	100—250
500/750/1000/1500	160—250

Габаритные, установочные и присоединительные размеры многоскоростных АД соответствуют односкоростным АД, на базе которых они спроектированы. Многоскоростные АД отличаются от АД основного исполнения обмоткой статора, а в ряде случаев — формой пазов ротора и длиной сердечников.

В обозначении многоскоростных АД дополнительно указываются числа полюсов, соответствующие частотам вращения.

Технические данные многоскоростных АД приведены в табл. 9.20.

Схемы включения статорных обмоток рассмотрены в разд. 4.

Таблица 9.20. Технические данные многоскоростных двигателей серии 4А

Типоразмер двигателя	Мощ- ность, кВт	Частота враще- ния, об/мин	Ток ста- тора, А, при $U =$ $= 380$ В	КПД, %	$\cos \varphi$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\min}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$	Момент инерции, 10^{-2} кг · м ²
-------------------------	-----------------------	-------------------------------------	--	-----------	----------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--

Двухскоростные двигатели

Синхронные частоты вращения 1500/3000 об/мин.

Схема соединения обмотки Д/УУ

4А56А4/2У3	0,1	1400	0,55	45	0,61	3,5	1,8	1,8	2,2	0,07
	0,14	2800	0,61	50	0,70	4	1,5	1,5	2,2	
4А56В4/2У3	0,12	1330	0,6	49	0,62	3,5	1,6	1,6	2,2	0,079
	0,18	2660	0,67	57	0,72	4	1,2	1,2	2,2	
4А63А4/2У3	0,19	1448	0,8	55	0,66	3,5	1,6	1,6	2,2	0,124
	0,265	2880	0,88	61	0,75	4	1,2	1,2	2,2	
4А63В4/2У3	0,224	1448	0,86	57	0,7	3,5	1,5	1,5	1,9	0,138
	0,37	2880	1,05	61	0,88	4	1,1	1,1	1,8	
4А71А4/2У3	0,45	1420	1,74	64	0,73	4	1,5	1,5	1,8	0,142
	0,75	2880	2	67	0,89	4	1,2	1,2	1,8	
4А71В4/2У3	0,63	1433	2,2	67	0,75	4,5	1,3	1,3	1,9	0,152
	0,95	2865	2,6	69	0,89	4,5	1,3	1,3	1,9	
4А80А4/2У3	1,1	1420	2,9	73	0,79	5	1,7	1,3	2	0,33
	1,5	2780	3,56	72	0,89	4	1,5	0,9	1,8	
4А90ЛА4/2У3	1,5	1420	3,7	76	0,81	5,5	1,7	1,3	2,1	0,35
	2	2780	4,8	74	0,86	5	1,7	1,1	1,9	
4А90ЛВ4/2У3	2	1420	4,6	77	0,86	6	1,7	1,2	2,2	0,63
	2,5	2850	5,6	77	0,89	6	1,8	1,1	2,1	
4А100С4/2У3	2,65	1440	6,15	80	0,82	6	1,8	1,3	2,2	0,92
	3,3	2820	7,4	77	0,91	6	1,8	1,3	2,2	
4А100Л4/2У3	3,2	1440	7,2	82	0,82	7	1,8	1,6	2,2	1,16
	4,2	2850	8,7	80	0,92	7	1,8	1,6	2,2	
4А112М4/2У3	4,2	1450	9	82	0,84	7,5	1,3	1	1,8	1,66
	5	2901	11	77	0,89	7,5	1,1	0,8	1,8	
4А132С4/2У3	6	1460	12	84	0,87	7,5	1,3	1	1,8	2,83
	6,7	2910	14	78	0,9	7,5	1,1	0,8	1,8	
4А132М4/2У3	8,5	1460	17	86	0,88	7,5	1,3	1	1,8	4,03
	9,5	2910	20	81	0,9	7,5	1,1	0,8	1,8	

Продолжение табл. 9.20

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Ток стар-тора, А, при $U = 380$ В	КПД, %	cos φ	I_{Π}	M_{Π}	M_{min}	M_{max}	Момент инерции, 10^{-2} кг · м ²
						$I_{ном}$	$M_{ном}$	$M_{ном}$	$M_{ном}$	
4A160S4/2Y3	11	1460	23,2	85	0,85	7,5	1,5	1	2,1	10,75
	14	2940	27,9	83	0,92	7,5	1,2	0,8	2	
4A160M4/2Y3	14	1460	28,1	87	0,87	7,5	1,6	1	2,1	13,5
	17	2900	33,5	84	0,92	7,5	1,2	0,8	2	
4A180S4/2Y3	18	1470	34,4	88,5	0,9	6,5	1,3	1	1,8	21
	21	2920	40,4	85	0,93	6,5	1,1	0,8	1,8	
4A180M4/2Y3	22	1470	41,3	90	0,9	7,5	1,3	1	1,8	26
	26,5	2920	50,5	86	0,93	7	1,1	0,8	1,8	
4A200L4/2Y3	33,5	1477	64,4	91	0,87	7	1,8	1,4	2	59
	37	2955	72,7	87	0,89	7,5	1,8	1	2,2	
4A225M4/2Y3	42,5	1477	82,5	92	0,85	7	1,8	1,4	2,	85
	45	2955	91,3	86	0,87	7,5	1,8	1	2,2	
4A250S4/2Y3	50	1477	95,2	93	0,86	6,5	1,8	1,4	2	133
	60	2955	118	87	0,89	7	1,6	0,8	2,2	
4A250M4/2Y3	60	1477	114	93	0,87	6,5	1,8	1,4	2	153
	71	2955	136	88	0,90	7	1,6	0,8	2,2	

Синхронная частота вращения 750/1500 об/мин. Схема соединения обмотки Д/УУ

4A90L8/4Y3	0,63	720	1,8	73	0,72	7,5	1,3	1	1,8	0,6
	1	1430	2,4	75	0,85	7,5	1,3	0,8	1,8	
4A100S8/4Y3	1	700	3,67	68	0,61	5	1,2	1,1	1,8	1,19
	1,7	1430	3,72	80	0,87	6	1,4	1,1	1,9	
4A100L8/4Y3	1,4	700	5	69	0,62	5	1,2	1,1	1,8	1,46
	2,4	1430	5,07	81	0,89	6	1,2	1,1	1,8	
4A112MA8/4Y3	1,9	710	5,7	72	0,71	7,5	1,2	1	1,8	1,75
	3	1420	6,8	75	0,89	7,5	1	0,8	1,8	
4A112MB8/4Y3	2,2	710	6,5	75	0,69	7,5	1,2	1	1,8	2,4
	3,6	1430	8,1	77	0,88	7,5	1	0,8	1,8	
4A132S8/4Y3	3,2	720	8,9	77	0,71	7,5	1,2	1	1,8	4,25
	5,3	1440	11	80	0,9	7,5	1	0,8	1,8	
4A132M8/4Y3	4,2	720	11	80	0,72	7,5	1,2	1	1,8	5,8
	7,1	1440	14	82	0,9	7,5	1	0,8	1,8	
4A160S8/4Y3	6	740	12	76,5	0,69	5,5	1,5	1	2	14,75
	9	1460	17,7	84	0,92	7	1,2	0,8	2	
4A160M8/4Y3	9	730	25,1	79	0,69	5,5	1,5	1	2	19,5
	13	1460	25,1	86,5	0,91	7	1,2	0,8	2	
4A180M8/4Y3	13	730	30,8	84,5	0,76	5,5	1,2	1	1,8	28
	18	1455	34,2	87,5	0,92	6,5	1	0,8	1,8	
4A200M8/4Y3	17	735	40	86	0,75	5	1,4	1,2	1,8	52
	25	1470	48	87	0,91	6	1,4	1	2	
4A200L8/4Y3	20	735	45,5	87	0,77	5	1,4	1,2	1,8	58
	28	1470	53,3	88	0,91	6	1,4	1	2	
4A225M8/4Y3	22,4	739	56,6	87	0,69	6	2	1	2,2	93
	33,5	1478	67	87	0,88	7	1,5	1,2	2,2	
4A250S8/4Y3	30	739	68	89,5	0,75	5	1,6	1,2	1,8	170
	45	1478	86	88,5	0,9	6	1,4	1	1,9	
4A250M8/4Y3	37	739	84	89,5	0,75	6	1,8	1,2	1,8	185
	55	1478	104	89,5	0,90	6,5	1,5	1,2	2	
4A280M8/4Y3	55	739	113	91,3	0,81	6	1,3	1	2,3	338
	75	1475	137,5	90,6	0,91	6,5	1,3	0,8	2,5	
4A315S8/4Y3	75	731	148	90,8	0,85	5	1,3	1	1,8	400
	90	1435	158	91,3	0,94	6	1,3	0,8	2,3	
4A315M8/4Y3	90	733	175	91,6	0,85	5	1,1	1	1,8	450
	110	1475	190	91,9	0,95	6	1,3	0,8	2,3	

Продолжение табл. 9.20

Типоразмер двигателя	Мощ- ность, кВт	Частота враще- ния, об/мин	Ток ста- тора, А, при $U =$ $= 380$ В	КПД, %	$\cos \varphi$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{НОМ}}}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{НОМ}}}$	$\frac{M_{\min}}{M_{\text{НОМ}}}$	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{НОМ}}}$	Момент инерции, 10^{-2} кг · м ²
4А355S8/4У3	110 160	740 1480	124,5 157,5	92,6 92,3	0,83 0,96	5 7	1,4 1,6	1 0,8	2 2,6	730
4А355М8/4У3	132 200	740 1480	147 200	93,2 92,8	0,84 0,94	5 7	1,3 1,8	1 0,8	1,9 2,5	880

Синхронные частоты вращения 1000/1500 об/мин. Схема соединения обмотки УУУ/УУУ

4А90L6/4У3	1,3 1,4 1,8	950 1430 950	3,8 3,4 5,07	73 75 77	0,72 0,85 0,7	7,5 7,5 6	1,3 1,3 1,8	1 0,8 1,6	1,8 1,8 2,2	0,74 0,92
4А100S6/4У3	2,1	1440	4,75	78	0,86	6	1,7	1,2	1,9	
4А100L6/4У3	2,5 2,8	970 1460	6,67 6,1	80 80	0,71 0,87	6 6	1,8 1,7	1,6 1,2	2,2 1,9	1,16
4А112М6/4У3	2,8 3,2	950 1420	8,2 7,4	76 76	0,68 0,86	7,5 7,5	1,3 1,3	1 0,8	1,8 1,8	1,66
4А132S6/4У3	4 4,5	950 1420	11 10	80 79	0,68 0,85	7,5 7,5	1,3 1,3	1 0,8	1,8 1,8	2,83
4А132М6/4У3	6 6,2	960 1440	16 14	83 81,5	0,68 0,85	7,5 7,5	1,3 1,3	1 0,8	1,8 1,8	4

Схема соединения обмотки УУ/Д

4А160S6/4У3	7,1 8,5	980 1470	19,8 19,2	80 79	0,68 0,85	6,5 7	1,4 1,3	1 0,8	2,2 2,2	15
4А160М6/4У3	11 13	980 1470	29,6 28,4	83 81,5	0,68 0,85	6,5 7,5	1,4 1,3	1 0,8	2,2 2,2	20
4А180М6/4У3	13 17	980 1470	30,8 33,8	85,5 86	0,75 0,89	6,5 6,5	1,2 1,2	1 1	2,2 2,2	22
4А200М6/4У3	17 22	990 1480	38,2 43	86,5 87	0,78 0,89	7 7	1,5 1,5	1 1	2,2 2,2	40

Синхронные частоты вращения 750/1000 об/мин. Две независимые обмотки.

Схема соединения обмотки У/У

4А100S8/6У3	0,7 0,9	690 930	2,9 2,6	65 74	0,56 0,71	4 5	1,6 1,2	1,5 1,1	2 1,8	1,19
4А100L8/6У3	1 1,3	690 930	3,7 3,4	65 76	0,63 0,76	4 5	2 1,5	1,8 1,2	2 1,8	1,46
4А112М8/6У3	1,1 1,3	690 930	3,5 3,5	65 69	0,74 0,81	7,5 7,5	1,2 1,2	1 0,8	1,8 1,8	1,75
4А112МВ8/6У3	1,4 1,7	690 940	4,2 4,5	66,5 71	0,76 0,81	7,5 7,5	1,2 1,2	1 0,8	1,8 1,8	2,12
4А132S8/6У3	2,4 2,6	710 970	6,9 6,9	73 75,5	0,72 0,76	7,5 7,5	1,2 1,2	1 0,8	1,8 1,8	4,03
4А132М8/6У3	2,8 3,2	720 970	7,9 8,3	75 76,5	0,72 0,76	7,5 7,5	1,2 1,2	1 0,8	1,8 1,8	5,8
4А160S8/6У3	7,5 8,5	725 975	14,3 14,5	83,5 83,5	0,78 0,75	5 5	1,4 1,3	1,3 1	2,2 2,2	15
4А160М8/6У3	10 11	730 980	19,9 21,5	85 85,5	0,74 0,83	5,5 6,5	1,7 1,6	1,6 1,4	2,3 2,3	20
4А180М8/6У3	13 15	735 980	28,7 26,4	85 88	0,72 0,82	5 6	1,3 1,5	1 1,4	1,9 2,2	28,3
4А200М8/6У3	15 18,5	735 985	33 31,8	85,5 88,5	0,66 0,8	5,5 6,5	1,5 1,5	1,4 1	2 2	52
4А200L8/6У3	18,5 22	735 985	36,3 37,7	86,5 89	0,7 0,81	5,5 6,5	1,5 1,5	1,3 1,2	2 2	58
4А225М8/6У3	22 30	735 985	43,3 45,8	86 88,5	0,65 0,79	5,5 6,5	1,7 1,6	1,5 1,5	2,2 2,2	93

Продолжение табл. 9.20

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Ток статора, А, при $U = 380$ В	КПД, %	$\cos \varphi$	$\frac{I_n}{I_{ном}}$	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Момент инерции, 10^{-2} кг · м ²
4A250S8/6УЗ	30 37	739 990	55,6 64,3	89,5 91	0,70 0,80	5,5 6,5	1,4 1,5	1,2 1,4	2 2,2	170
4A250M8/6УЗ	44 55	739 990	62,8 79,6	89,5 91	0,71 0,81	5 5,5	1,3 1,4	1 1,1	1,8 1,8	185

Синхронные частоты вращения 500/1000 об/мин. Схема соединения обмотки Д/УУ

4A180M12/6УЗ	6,7 11	480 975	20,3 22,3	76 84,5	0,66 0,89	4,5 6,5	1,5 1,3	1,5 1	1,9 1,9	28,3
4A200M12/6УЗ	9 14	490 985	32 28,2	77,5 88	0,55 0,86	4 6,5	1,5 1,5	1,2 1,2	1,8 2	52
4A200L12/6УЗ	10 17	485 980	34 34	80 88,5	0,56 0,86	4 6,5	1,5 1,5	1,2 1,2	1,8 2	58
4A225M12/6УЗ	12,5 22	485 980	41 44,2	81,5 88	0,57 0,86	4 6	1,4 1,3	1,2 1,2	1,8 1,8	93
4A250S12/6УЗ	16 28	493 985	55,5 55,7	83 90	0,53 0,85	4 6	1,7 1,5	1,2 1,2	1,8 1,8	170
4A250M12/6УЗ	18,5 35,5	493 985	62,5 71	83,5 89,5	0,54 0,85	4 6	1,7 1,5	1,2 1	1,8 1,8	185
4A280M12/6УЗ	37 55	490 981	92,7 99	88,6 91	0,68 0,92	4,5 5,5	1,2 1,1	1 0,8	1,9 2,2	418
4A315S12/6УЗ	45 75	490 980	108 134	89,8 91,5	0,70 0,93	4,5 5,5	1,1 1,1	1 0,8	1,8 2,1	493
4A315M12/6УЗ	55 90	490 981	138 162	90,1 92,2	0,68 0,91	4,5 5,5	1,2 1,3	1 0,8	2,1 2,2	585
4A355S12/6УЗ	55 90	495 990	83,9 95	90,7 92,1	0,63 0,9	5,5 7,5	1,9 2	1 0,8	2,5 2,8	905
4A355M12/6УЗ	75 110	490 985	103 114	91,1 92,7	0,7 0,91	5 7	1,2 1,7	1 0,8	1,7 2,5	1020

Трехскоростные двигатели

Синхронные частоты вращения 1000/1500/3000 об/мин.

Две независимые обмотки. Схема соединения обмотки У/Д/УУ

4A100S6/4/2УЗ	1 1,1 1,5	940 1425 2850	3,66 3,33 3,78	69 66 67	0,6 0,76 0,90	4,5 5,5 6,5	2 1,3 1,1	1,6 0,8 0,8	2,5 2 2	0,92
4A100L6/4/2УЗ	1,4 1,5 2,1	940 1425 2850	4,96 4,21 4,91	69 71 72	0,62 0,76 0,9	4,5 6,5 6,5	2 1,3 1,1	1,7 1 0,8	2,5 2,2 2	1,16
4A112M6/4/2УЗ	1,6 2,2 2,8	950 1440 2880	4,5 5,2 6,6	71 76 71	0,76 0,84 0,9	7,5 7,5 7,5	1,3 1,3 1,1	1 0,8 0,8	1,8 1,8 1,8	1,66
4A132S6/4/2УЗ	2,8 3,6 4,2	960 1450 2900	7,3 8,1 9,9	76,5 79,5 71,5	0,76 0,85 0,9	7,5 7,5 7,5	1,3 1,3 1,1	1 0,8 0,8	1,8 1,8 1,8	2,83
4A132M6/4/2УЗ	3,8 5 6	960 1450 2900	9,6 11 13	78,5 81 76	0,76 0,87 0,9	7,5 7,5 7,5	1,3 1,3 1,1	1 0,8 0,8	1,8 1,8 1,8	4
4A160S6/4/2УЗ	4,8 5,3 7,5	955 1460 2900	11,2 11,7 16,3	79,5 81 76	0,82 0,85 0,92	6 7 7	1,3 1,3 1,1	1 1 1	2 2 2	10,75
4A160M6/4/2УЗ	6,7 7,5 10,5	955 1455 2900	15,6 16 21,9	81,5 83 78,5	0,8 0,86 0,93	6 7 7	1,3 1,3 1,1	1 1 1	2 2 2	13,5

Продолжение табл. 9.20

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Ток статора, А, при $U = 380$ В	КПД, %	$\cos \varphi$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\min}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$	Момент инерции, 10^{-2} кг·м ²
----------------------	---------------	--------------------------	---------------------------------	--------	----------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	---

Синхронные частоты вращения 750/1500/3000 об/мин. Две независимые обмотки.

Схема соединения обмотки У/Д/УУ

4A100S8/4/2Y3	0,63	705	2,8	58	0,59	4	1,5	1,4	2	0,92
	1,1	1425	3,33	66	0,76	5,5	1,1	0,8	2	
	1,5	2850	3,78	67	0,9	6	1	0,8	2	
4A100L8/4/2Y3	0,9	750	3,23	66	0,64	4	1,5	1,3	1,8	1,16
	1,5	1425	4,21	71	0,76	6,5	1,3	1	2,2	
	2,1	2850	4,91	72	0,9	6,5	1,1	0,8	2	
4A112M8/4/2Y3	1,1	700	3,8	65	0,68	7,5	1,2	1	1,8	1,66
	1,9	1440	4,7	72,5	0,85	7,5	1,1	0,8	1,8	
	2,2	2870	5,5	67,5	0,9	7,5	1	0,8	1,8	
4A132S8/4/2Y3	1,8	710	5	70	0,65	7,5	1,2	1	1,8	2,83
	3	1460	7,2	77,5	0,82	7,5	1,1	0,8	1,8	
	3,6	2920	9,1	69	0,87	7,5	1	0,8	1,8	
4A132M8/4/2Y3	2,4	720	7,6	72,5	0,66	7,5	1,2	1	1,8	4
	4,5	1460	10	79,5	0,82	7,5	1,1	0,8	1,8	
	5	2940	12	71,5	0,87	7,5	1	0,8	1,8	
4A160S8/4/2Y3	3,8	715	10,5	76	0,72	5	1,2	1	2	10,75
	4,25	1470	9,4	81,5	0,84	7,5	1,1	1	2	
	6,3	2900	13,5	76,5	0,93	7	1	1	2	
4A160M8/4/2Y3	5	720	13,8	78	0,71	5	1,2	1	2	13,5
	7,1	1470	14,7	84,5	0,87	7,5	1,1	1	2	
	9,5	2900	19,3	80,5	0,93	7,5	1	1	2	

Синхронные частоты вращения 750/1000/1500 об/мин. Две независимые обмотки.

Схема соединения обмотки Д/У/УУ

4A100S8/6/4Y3	0,71	712	2,94	59	0,62	4	1,4	1	1,9	1,19
	0,9	950	2,96	65	0,71	4,5	1,4	1	1,9	
	1,3	1425	3,48	69	0,82	5	1,4	0,8	1,9	
4A100L8/6/4Y3	0,9	712	3,55	61	0,63	4	1,4	1,1	1,9	1,46
	1,2	950	3,77	68	0,71	5	1,4	1,1	2	
	1,7	1428	4,37	71	0,83	5	1	0,8	1,9	
4A112MA8/6/4Y3	1	700	3,5	62	0,69	7,5	1,2	1	1,8	1,73
	1,1	950	3,3	65	0,77	7,5	1,2	0,8	1,8	
	1,5	1400	3,6	72	0,89	7,5	1	0,8	1,8	
4A112MB8/6/4Y3	1,2	700	4,2	63,5	0,69	7,5	1,2	1	1,8	2,12
	1,4	950	4	68,5	0,77	7,5	1,2	0,8	1,8	
	2,1	1390	5	71	0,89	7,5	1	0,8	1,8	
4A132S8/6/4Y3	1,9	720	5,7	69,5	0,72	7,5	1,2	1	1,8	4
	2,2	960	5,9	73,5	0,77	7,5	1,2	0,8	1,8	
	3,2	1420	7,3	74	0,9	7,5	1	0,8	1,8	
4A132M8/6/4Y3	2,6	720	7,6	72,5	0,72	7,5	1,2	1	1,8	5,8
	2,8	960	7,3	75	0,78	7,5	1,2	0,8	1,8	
	4,5	1420	9,8	77,5	0,9	7,5	1	0,8	1,8	
4A160S8/6/4Y3	4	730	13	74,5	0,63	5,5	1,2	1	2	15
	4,5	980	12	76	0,75	6	1,2	0,8	2	
	7,5	1450	15,7	80,5	0,9	6	1	0,8	2	
4A160M8/6/4Y3	5	735	16,1	76,5	0,62	5	1,2	1	2	20
	6,3	980	17	77	0,73	6	1,2	0,8	2	
	10	1450	20,6	82	0,9	6,5	1,0	0,8	2	
4A180M8/6/4Y3	8,0	735	21,4	78	0,73	6,5	1,3	1	1,9	28,3
	10	985	22,5	83,5	0,81	6,5	1,2	1	2	
	12,5	1420	25	83	0,92	6,5	1	0,8	1,9	

Продолжение табл. 9.20

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Ток статора, А, при $U = 380$ В	КПД, %	$\cos \varphi$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\min}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$	Момент инерции, 10^{-2} кг · м ²
4A200M8/6/4УЗ	11	739	29,6	82	0,69	6	1,6	1	2	52
	12	990	28	82,5	0,79	7	1,2	1	2	
	18,5	1478	36,4	85	0,91	7,5	1,2	1	2	
4A200L8/6/4УЗ	14	739	36,7	83	0,7	6	1,6	1	2	58
	15	980	33	85,5	0,81	7	1,2	1	2	
	21	1478	40,6	85,5	0,92	7,5	1,2	1	2	
4A225M8/6/4УЗ	17	739	39,6	86	0,76	6	1,6	1	2	93
	18,5	990	38,6	86	0,85	7	1,2	1	2	
	25	1478	47,8	86,5	0,92	7,5	1,2	1	2	
4A250S8/6/4УЗ	20	717	45	88	0,77	6,5	1,8	1	2	170
	22	990	52,2	85,5	0,75	7,5	1,5	1,4	2	
	30	1435	56,8	87	0,92	7,5	1,5	1,1	2	
4A250M8/6/4УЗ	22	717	62	86	0,65	7	1,8	1	2,2	185
	30	990	59,4	88	0,84	6,5	1,5	1,4	2	
	37	1435	72,5	88	0,9	7,5	1,5	1,1	2,2	

Четырехскоростные двигатели

Синхронные частоты вращения 500/750/1000/1500 об/мин.

Две независимые обмотки. Схема соединения обмотки Д/Д/УУ/УУ

4A160M12/8/6/4УЗ	1,8	490	10,8	56,5	0,45	3	1,4	1	2	20
	4	730	14,4	67	0,63	4,5	1,2	1	2	
	4,25	970	10,1	76	0,84	5	1,1	0,8	2	
	6,7	1460	14,3	79	0,90	6,5	1	0,8	2	
4A180M12/8/6/4УЗ	3	485	13,2	63	0,55	4	2	1,5	1,8	28,3
	5	735	15,1	75	0,67	5	1,6	1,2	1,8	
	6	975	13,3	80,5	0,85	5,5	1,3	1	1,8	
	8	1470	16,8	81,5	0,89	6	1	0,8	1,8	
4A200M12/8/6/4УЗ	5	492	17,6	72	0,6	4,5	1,4	1,2	2	52
	8	742	21,8	80	0,7	6	1,2	1	2	
	8,5	985	18	82,5	0,87	6,5	1,1	1	2	
	12	1435	24,6	82,5	0,9	7,5	1	0,8	2	
4A200L12/8/6/4УЗ	6	492	23	72	0,55	4,5	1,4	1,2	2	58
	10	742	26	81	0,72	5,5	1,2	1	2	
	10,5	985	22,3	83	0,86	6,5	1,1	1	2	
	15	1435	30	83,5	0,91	7	1	0,8	2	
4A225M12/8/6/4УЗ	7,1	495	24,7	75,5	0,58	4,5	1,4	1,2	2	93
	12,5	742	35,8	82	0,65	6,5	1,3	0,8	2	
	13	990	44,5	84,5	0,87	6,5	1,1	1	2	
	20	1435	41	83,5	0,89	7,5	1	0,8	2	
4A250S12/8/6/4УЗ	9	495	31,6	76	0,57	4,5	1,5	1,2	2	170
	17	742	41,3	84,5	0,74	5,5	1,3	0,8	1,9	
	18,5	990	38,5	84	0,87	6	1,1	1	1,8	
	26,5	1435	52,4	84,5	0,91	7	1	0,8	1,9	
4A250M12/8/6/4УЗ	12	495	44	77	0,54	4,5	1,5	1,4	2	185
	22	742	52,2	85,5	0,75	5,5	1,3	0,8	1,9	
	24	990	48,8	86	0,87	6	1,2	1	1,9	
	30	1435	59,2	85,5	0,90	7,5	1,2	0,8	1,9	

9.2.8. Двигатели серии 4А на частоту 60 Гц

Двигатели предназначены для работы от сети частотой 60 Гц, при увязке устано-

вочных размеров, как у основного исполнения на частоту 50 Гц, имеют частоту вращения на 20% выше. Двигатели соответствуют требованиям ТУ 16-510.423-73, ТУ 16-510.463-79, ТУ 16-510.527-74.

9.2.9. Двигатели серии 4А с фазным ротором (4АК, 4АНК)

Двигатели предназначены для привода механизмов, требующих плавного регулирования частоты вращения, а также механизмов с особо тяжелыми условиями пуска. Двигатели имеют степень защиты IP44 (4АК) и IP23 (4АНК), предусмотрены в диапазонах высот оси вращения IP23 — 160—355 мм, IP44 — 160—250 мм и соответствуют требованиям ТУ 16-510.824-83, ТУ

16-742-80, ТУ 16-510.596-75. Двигатели унифицированы с АД основного исполнения по конструкции статора. При высотах оси вращения 160—200 мм ротор имеет всыпную двухслойную петлевою обмотку, 225—355 мм — стержневую двухслойную обмотку. Двигатели обозначаются дополнительной буквой К после условного обозначения степени защиты.

Технические данные АД с фазным ротором приведены в табл. 9.21.

Таблица 9.21. Технические данные двигателей серии 4А с фазным ротором (4АК, 4АНК)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	cos φ	Скольжение, %	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Ток ротора, А	Напряжение ротора, В	Масса, кг
Синхронная частота вращения 1500 об/мин								
4AK160S4Y3	11	86,5	0,86	5	3	22	305	160
4AK160M4Y3	14	88,5	0,87	4	3,5	29	300	185
4AK180M4Y3	18	89	0,88	3,5	4	38	295	250
4AK200M4Y3	22	90	0,87	2,5	4	45	340	305
4AK200L4Y3	30	90,5	0,87	2,5	4	55	350	325
4AK225M4Y3	37	90	0,87	3,5	3	160	160	415
4AK250SA4Y3	45	91	0,88	3	3	170	230	555
4AK250SB4Y3	55	90,5	0,9	3	3	170	200	595
4AK250M4Y3	71	91,5	0,86	2,5	3	170	250	640
Синхронная частота вращения 1000 об/мин								
4AK160S6Y3	7,5	82,5	0,77	5	3,5	18	300	170
4AK160M6Y3	10	84,5	0,76	4,5	3,8	20	310	200
4AK180M6Y3	13	85,5	0,8	4,5	4	25	325	240
4AK200M6Y3	18,5	88	0,81	3,5	3,5	35	360	300
4AK200L6Y3	22	88	0,8	3,5	3,5	45	330	315
4AK225M6Y3	30	89	0,85	3,5	2,5	150	140	405
4AK250S6Y3	37	89	0,84	3,5	2,5	165	150	540
4AK250M6Y3	45	90,5	0,87	3	2,5	160	180	600
Синхронная частота вращения 750 об/мин								
4AK160S8Y3	5,5	80	0,7	6,5	2,5	14	300	170
4AK160M8Y3	7,5	82	0,7	6	3	16	290	200
4AK180M8Y3	11	85,5	0,72	4	3,5	25	270	260
4AK200M8Y3	15	86	0,7	3,5	3	28	360	300
4AK200L8Y3	18,5	86	0,73	3,5	3	40	300	320
4AK225M8Y3	22	87	0,82	4,5	2,2	140	102	400
4AK250S8Y3	30	88,5	0,81	4	2,2	155	125	540
4AK250M8Y3	37	89	0,8	3,5	2,2	155	148	595
Синхронная частота вращения 1500 об/мин								
4АНК160S4Y3	14	86,5	0,85	5	3	27	330	140
4АНК160M4Y3	17	88	0,87	5	3,5	34	315	160
4АНК180S4Y3	22	87	0,86	5,5	3,2	43	300	190
4АНК180M4Y3	30	88	0,81	4,5	3,2	63	290	220
4АНК200M4Y3	37	90	0,88	3	3	62	360	290
4АНК200L4Y3	45	90	0,88	3,5	3	75	375	315
4АНК225M4Y3	55	89,5	0,87	4	2,5	200	170	405
4АНК250SA4Y3	75	90	0,88	4,5	2,3	250	180	500
4АНК250SB4Y3	90	91,5	0,87	4	2,5	260	220	540
4АНК250M4Y3	110	92	0,9	3,5	2,5	260	250	585

Продолжение табл. 9.21

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	cosφ	Скольжение, %	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Ток ротора, А	Напряжение ротора, В	Масса, кг
4АНК280S4Y3	132	92	0,88	2,9	2	330	251	725
4АНК280M4Y3	160	92,5	0,88	2,6	2	330	300	775
4АНК315S4Y3	200	93	0,89	2,5	2	396	312	910
4АНК315M4Y3	250	93	0,9	2,5	2	425	360	990
4АНК355S4Y3	315	93,5	0,9	2,2	2	460	420	1240
4АНК355M4Y3	400	94	0,9	2	2	485	505	1380

Синхронная частота вращения 1000 об/мин

4АНК180S6Y3	13	83,5	0,81	7	3	42	205	180
4АНК180M6Y3	17	85	0,82	6	3	32,5	335	200
4АНК200M6Y3	22	88	0,81	3,5	3	37	380	285
4АНК200L6Y3	30	88,5	0,82	4	3	46	375	315
4АНК225M6Y3	37	89	0,86	4	1,9	180	140	400
4АНК250SA6Y3	45	89,5	0,86	4	2,3	200	155	470
4АНК250SB6Y3	55	91	0,88	3,5	2,5	185	190	510
4АНК250M6Y3	75	91,5	0,85	3	2,5	200	250	585
4АНК280S6Y3	90	90	0,88	3,6	1,9	277	202	685
4АНК280M6Y3	110	91,5	0,87	3,6	1,9	297	230	735
4АНК315S6Y3	132	92	0,88	3	1,9	320	257	845
4АНК315M6Y3	160	92,5	0,88	3	1,9	352	291	910
4АНК355S6Y3	200	93	0,89	2,5	1,8	411	304	1180
4АНК355M6Y3	250	93	0,89	2,5	1,8	401	380	1305

Синхронная частота вращения 750 об/мин

4АНК180S8Y3	11	85	0,72	5	3,2	22,5	315	195
4АНК180M8Y3	14	86,5	0,69	4,5	3,5	28	310	225
4АНК200M8Y3	18,5	86	0,78	4,5	2,5	30	380	285
4АНК200L8Y3	22	87	0,79	4,5	2,5	40	330	315
4АНК225M8Y3	30	86,5	0,8	5	1,8	165	120	400
4АНК250SA8Y3	37	87,5	0,8	5,5	2,2	190	115	475
4АНК250SB8Y3	45	89	0,82	4	2,2	190	140	515
4АНК250M8Y3	55	89,5	0,83	3,5	2,2	185	190	575
4АНК280S8Y3	75	90,5	0,84	4	1,9	257	190	700
4АНК280M8Y3	90	90,5	0,84	4	1,9	267	214	755
4АНК315S8Y3	110	91,5	0,84	3,5	1,9	311	225	910
4АНК315M8Y3	132	92	0,84	3,5	1,9	364	247	980
4АНК355S8Y3	160	92,5	0,86	2,7	1,7	353	285	1215
4АНК355M8Y3	200	92,5	0,86	2,7	1,7	359	350	1360

Синхронная частота вращения 600 об/мин

4АНК280S10Y3	45	89	0,78	5	1,8	178	162	625
4АНК280M10Y3	55	89,5	0,79	4,5	1,8	180	185	675
4АНК315S10Y3	75	90	0,8	4,5	1,8	221	217	845
4АНК315M10Y3	90	90,5	0,81	4,2	1,8	223	260	920
4АНК355S10Y3	110	90,5	0,81	3,8	1,7	242	283	1180
4АНК355M10Y3	132	91	0,81	3,6	1,7	257	330	1260

Синхронная частота вращения 500 об/мин

4АНК315S12Y3	55	89	0,75	5	1,8	235	165	845
4АНК315M12Y3	75	90	0,75	5	1,8	221	207	920
4АНК355S12Y3	90	89,5	0,73	4	1,7	259	222	1160
4АНК355M12Y3	110	90	0,73	4	1,7	265	265	1245

9.2.10. Двигатели серии 4А малошумные (4А...Н)

Двигатели предназначены для работы в приводах с повышенными требованиями к уровню шума. Они выпускаются в диапазоне высот оси вращения 56—160 мм со степенью защиты IP44. По уровню звука соответствуют требованиям ГОСТ 16372-77 для машин третьего класса, допустимые вибрации соответствуют требованиям ГОСТ 16921-83. От основного исполнения АД отличаются более точной обработкой посадочных мест, улучшенными балансировкой и сборкой, подшипниками более высокого класса по точности и виброшумовым характеристикам, конструкцией вентиляционного узла. Двигатели обозначаются дополнительной буквой Н после обозначения числа полюсов, например 4А132S4НУ3.

Технические данные малошумных АД аналогичны техническим данным машин основного исполнения со степенью защиты IP44.

9.2.11. Двигатели серии 4А со встроенным электромагнитным тормозом (4А...Е)

Двигатели предназначены для привода механизмов, работающих в повторно-кратковременном режиме с частыми пусками под нагрузкой (S4) и требующих фиксированного останова за регламентированное время после отключения АД от сети. Двигатели выпускаются в диапазоне высот оси вращения 56—160 мм и имеют степень защиты IP44. Двигатели разработаны на базе АД основного исполнения или АД с повышенным скольжением. Отличительным признаком является наличие специального тормозного устройства, обеспечивающего тормозной момент не менее 1,5 номинального вращающего момента. Время торможения t_T и время растормаживания t_p не превышает следующих значений:

Высота оси вращения, мм	t_T , мс	t_p , мс
56—100	100	40
112—160	200	100

Двигатели обозначаются дополнительной буквой Е после обозначения числа полюсов. Технические данные АД со встроенным электромагнитным тормозом аналогичны техническим данным АД, на базе которых они разработаны.

9.2.12. Двигатели серии 4А встраиваемые (4АВ)

Двигатели предназначены для встраивания в механизмы и представляют собой сердечник статора с обмоткой и залитый алюминием (или сплавом) сердечник ротора без вала с вентилятором или без него. Выпускаются встраиваемые АД в основном в специализированных исполнениях и соответствующих модификациях. Двигатели обозначаются дополнительной буквой В после обозначения серии, например 4АВ56А4У3. Технические данные встраиваемых АД аналогичны данным АД основного исполнения со степенью защиты IP44 или их модификаций (табл. 9.22).

Таблица 9.22. Технические данные
встраиваемых двигателей серии 4А

Типоразмер встраиваемого двигателя	Типоразмер двигателя основного исполнения по ГОСТ 19523-81
4АВ50А2У3	4А50А2У3
В2У3	В2У3
А4У3	А4У3
В4У3	В4У3
4АВ56А2У3	4А56А2У3
В2У3	В2У3
А4У3	А4У3
В4У3	В4У3
4АВ63А2У3	4А63А2У3
В2У3	В2У3
А4У3	А4У3
В4У3	В4У3
А6У3	А6У3
В6У3	В6У3
4АВ71А2У3	4А71А2У3
В2У3	В2У3
А4У3	А4У3
В4У3	В4У3
А6У3	А6У3
В6У3	В6У3
В8У3	В8У3
4АВ80А2У3	4А80А2У3
В2У3	В2У3
А4У3	А4У3
В4У3	В4У3
4АВ80А6У3	4А80А6У3
В6У3	В6У3
А8У3	А8У3
В8У3	В8У3
4АВ90А2У3	4А90Л2У3
В4У3	Л4У3
А6У3	Л6У3
А8У3	Л8У3
В8У3	ЛВ8У3
4АВ100А2У3	4А100S2У3
В2У3	Л2У3
А4У3	С4У3
В4У3	Л4У3
В6У3	Л6У3
В8У3	ЛВ8У3

Продолжение табл. 9.22

Типоразмер встраиваемого двигателя	Типоразмер двигателя основного исполнения по ГОСТ 19523-81
4AB112A2Y3	4A112M2Y3
A4Y3	M4Y3
A6Y3	MA6Y3
B6Y3	MB6Y3
A8Y3	MA8Y3
B8Y3	MA8Y3
4AB132B2Y3	4A132M2Y3
A4Y3	S4Y3
B4Y3	M4Y3
A6Y3	S6Y3
B6Y3	M6Y3
A8Y3	S8Y3
B8Y3	M8Y3
4AB160A2Y3	4A160S2Y3
B2Y3	M2Y3
A4Y3	S4Y3
B4Y3	M4Y3
A6Y3	S6Y3
B6Y3	M6Y3
A8Y3	S8Y3
B8Y3	M8Y3
4AB180A2Y3	4A180S2Y3
B2Y3	M2Y3
A4Y3	S4Y3
B4Y3	M4Y3
B6Y3	M6Y3
B8Y3	M8Y3
4AB200A2Y3	4A200M2Y3
B2Y3	L2Y3
A4Y3	M4Y3
B4Y3	L4Y3
A6Y3	M6Y3
B6Y3	L6Y3
A8Y3	M8Y3
B8Y3	L8Y3
4AB225A2Y3	4A225M2Y3
A4Y3	M4Y3
A6Y3	M6Y3
A8Y3	M8Y3
4AB250A2Y3	4A250S2Y3
B2Y3	M2Y3
A4Y3	S4Y3
B4Y3	M4Y3
A6Y3	S6Y3
B6Y3	M6Y3
A8Y3	S8Y3
B8Y3	M8Y3

9.2.13. Двигатели серии 4A с встроенной температурной защитой (4A...Б)

Двигатели предназначены для привода механизмов, работающих со значительными перегрузками, частыми пусками и другими тяжелыми условиями эксплуатации. Температурная защита обеспечивает: отключение АД при температуре обмотки статора, пре-

вышающей предельную для данного класса изоляции; полное использование перегрузочной способности АД в пределах допустимых превышений температуры; достаточное быстродействие и минимальное время возврата после устранения неисправностей или перегрузок.

В лобовые части обмоток установлены полупроводниковые датчики температуры (терморезисторы). Двигатели работают в комплекте со специальными устройствами температурной защиты, дающими сигнал на отключение при любых режимах, приводящих к чрезмерному превышению температуры обмоток. Двигатели обозначаются дополнительной буквой Б после обозначения числа полюсов, например 4A160S4BY3. Технические данные с встроенной температурной защитой аналогичны техническим данным АД основного исполнения со степенью защиты IP44, их модификаций и специализированных исполнений.

9.2.14. Двигатели серии 4A для моноблочных насосов (4A...Ж)

Двигатели предназначены для комплектации моноблочных центробежных насосов для режима работы S1 от сети переменного тока частотой 50 Гц. Двигатели выпускаются в диапазоне высот оси вращения 71—225 мм на синхронные частоты вращения 3000, 1500 об/мин и соответствуют требованиям ТУ 16-510.819-83, ТУ 16-510.712-79, ТУ 16-510.723-79. Двигатели имеют один удлиненный конец вала специальной конструкции. По остальным деталям и узлам АД унифицированы с основным исполнением со степенью защиты IP44. Двигатели обозначаются дополнительной буквой Ж после обозначения числа полюсов, например 4A200M4ЖY3.

Технические данные АД для моноблочных насосов аналогичны техническим данным АД основного исполнения со степенью защиты IP44 (см. табл. 9.6).

9.2.15. Двигатели серии 4A тропического исполнения (4A...Т)

Двигатели предназначены для работы в условиях влажного или сухого тропического климата. Двигатели выпускаются в диапазоне высот оси вращения 50—355 мм со степенью защиты IP54 в климатическом исполнении Т, категории размещения 2 и 5 по ГОСТ 15150-69. Условия эксплуатации двигателей тропического исполнения регламентируются ГОСТ 15543-70 и ГОСТ 15150-69.

От основного исполнения двигателя отличаются применением изоляции для тропического климата, специальных обмоточных проводов, антикоррозионного покрытия для всех деталей и узлов, наличием уплотнений по линии вала. Двигатели обозначаются дополнительно буквой Т после указания числа полюсов, например 4А250М6Т2. Технические данные АД тропического исполнения соответствуют данным АД основного исполнения со степенью защиты IP44 и их модификаций (см. табл. 9.45).

9.2.16. Двигатели серии 4А химостойкого исполнения (4А...Х)

Двигатели предназначены для работы в химически активной невзрывоопасной среде с общей продолжительностью воздействия химически активных агентов аварийной концентрации за время всего срока службы не более 120 ч. Двигатели выпускаются в диапазоне высот оси вращения 50—355 мм со степенью защиты IP54, категории размещения 3 и 5 по ГОСТ 15150-69. Условия эксплуатации двигателей химостойкого исполнения регламентируются ГОСТ 19523-81 и ГОСТ 24682-81. Двигатели химостойкого исполнения отличаются от АД основного исполнения со степенью защиты IP44 применением химически стойких изоляционных материалов и антикоррозионных покрытий всех деталей и узлов. Двигатели обозначаются дополнительной буквой Х после обозначения числа полюсов, например 4А180М4ХУ3. Технические данные АД химостойкого исполнения полностью соответствуют данным АД основного исполнения со степенью защиты IP44 или их модификаций (см. табл. 9.6).

9.2.17. Двигатели серии 4А сельскохозяйственного назначения (4А...С, 4А...СХ)

Двигатели предназначены для работы на предприятиях сельского хозяйства. Двигатели выпускаются в диапазоне высот оси вращения 50—180 мм со степенью защиты IP54 категории размещения 1—5 по ГОСТ 15150-69. Условия эксплуатации двигателей сельскохозяйственного исполнения регламентируются ГОСТ 19348-82. Двигатели сельскохозяйственного назначения отличаются от основного исполнения АД изоляционной системой, защитными покрытиями и уплотнениями по линии вала, щитов и вводного устройства. Двигатели обозначаются дополнительными буквами С и СХ (химостойкое

исполнение) после обозначения числа полюсов, например 4А160S4СХУ2. Технические данные АД сельскохозяйственного назначения аналогичны техническим данным АД основного исполнения со степенью защиты IP44 или их модификаций (см. табл. 9.6).

9.2.18. Двигатели серии 4А влагоморозостойкого исполнения (4А...ХЛ)

Двигатели предназначены для работы при температуре окружающей среды до -40°C и относительной влажности до 100% при температуре $+25^{\circ}\text{C}$. Двигатели выпускаются в диапазоне высот оси вращения 50—355 мм со степенью защиты IP54 в климатическом исполнении ХЛ, категории размещения 2 по ГОСТ 15150-69. Условия эксплуатации регламентируются ГОСТ 15543-70 и ГОСТ 15150-69. Двигатели влагоморозостойкого исполнения отличаются от АД основного исполнения влагоморозостойкой изоляцией и защитными покрытиями всех деталей. Двигатели обозначаются дополнительными буквами ХЛ после числа полюсов, например 4А132М4ХЛ2. Технические данные АД влагоморозостойкого исполнения соответствуют техническим данным АД основного исполнения со степенью защиты IP44 или их модификаций (см. табл. 9.6).

9.2.19. Двигатели серии 4А рудничного исполнения (4А...РН)

Двигатели предназначены для работы в подземных выработках, карьерах и на обогащательных фабриках в условиях невзрывоопасной окружающей среды, содержащей агенты коррозии, при запыленности воздуха до 100 мг/м^3 . Выпускаются в диапазоне высот оси вращения 112—250 мм с синхронной частотой вращения 3000, 1500, 1000, 750, 600 об/мин, со степенью защиты IP54 в климатическом исполнении У, категории размещения 2 и 5 по ГОСТ 15150-69. Условия эксплуатации регламентируются ГОСТ 15543-70 и ГОСТ 15150-69, в части воздействия внешней среды по группе МЗ — ГОСТ 17516-72. Двигатели рудничного исполнения разработаны на базе АД основного исполнения, АД с повышенным пусковым моментом и АД с повышенным скольжением. Двигатели рудничного исполнения отличаются от АД основного исполнения защитными покрытиями и уплотнениями. Двигатели обозначаются дополнительными буквами РН после указания числа полюсов, например 4А160S4РНУ2. Технические данные АД рудничного исполне-

ния соответствуют данным АД основного исполнения со степенью защиты IP44 или их модификаций (см. табл. 9.6).

9.2.20. Двигатели серии 4А пылезащищенного исполнения (4А...УП)

Двигатели предназначены для продолжительного режима работы от сети с частотой 50 Гц для привода механизмов, работающих в условиях невзрывоопасной окружающей среды с повышенным содержанием пыли. Выпускаются в диапазоне высот оси вращения 56—250 мм для АД, выполненных на базе АД основного исполнения и 160—250 мм для АД, выполненных на базе АД с повышенным пусковым моментом. Двигатели имеют степень защиты IP54, климатическое исполнение У, категория размещения 3. Они отличаются от АД со степенью защиты IP44 уплотнениями по линии вала и вводных устройств. Двигатели обозначаются дополнительными буквами УП после указания числа полюсов, например 4А160М4УПЗ. Технические данные АД пылезащищенного исполнения соответствуют данным АД основного исполнения со степенью защиты IP44 или их модификаций (см. табл. 9.6).

9.2.21. Двигатели серии 4А для речных и морских судов гражданского флота (4А...ОМ)

Двигатели предназначены для работы от сети переменного тока с частотой 50 Гц для привода вспомогательных механизмов на речных и морских судах гражданского флота неограниченного района плавания. Выпускаются в диапазоне высот оси вращения 160—250 мм на базе АД основного исполнения и электрических модификаций: с повышенным пусковым моментом, с повышенным скольжением, многоскоростных.

Двигатели имеют степень защиты IP44 (4А) и IP23 (4АН) по ГОСТ 17494-72 и следующие исполнения по способу монтажа, ГОСТ 2479-79:

защищенное исполнение (IP23), высота оси вращения 160—250 мм — IM1001, IM1002;

закрытое исполнение (IP44):

высота оси вращения 160—180 мм — IM1081, IM1082, IM2081, IM2082, IM3081, высота оси вращения 200—225 мм — IM1081, IM1082, IM2081, IM2082, IM3011, IM3031,

высота оси вращения 250 мм — IM1081,

IM1082, IM3081, IM3082, IM3011, IM3031.

Климатическое исполнение двигателей — ОМ, категория размещения — 2 по ГОСТ 15150-69. Двигатели могут эксплуатироваться в условиях, нормированных для исполнения ОМ категорий размещения 3, 4 (для защищенного исполнения) и 3, 4, 5 (для закрытого исполнения). Номинальные значения климатических факторов внешней среды — по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70. Атмосфера — типа III с содержанием паров смазок и масел. Относительная влажность воздуха: при температуре $45 \pm 2^\circ\text{C} - 75 \pm 3\%$, $40 \pm 2^\circ\text{C} - 80 \pm 3\%$, $25 \pm 2^\circ\text{C} - 95 \pm 3\%$. Двигатели допускают длительную работу при температуре окружающей среды $+50^\circ\text{C}$, при этом мощность снижается до 90 % номинальной.

Номинальный режим работы АД основного исполнения, с повышенным пусковым моментом и многоскоростных — продолжительный S1, АД с повышенным скольжением — повторно-кратковременный S3 с продолжительностью включения ПВ = 40 %.

Технические данные АД серии 4А для речных и морских судов указаны в табл. 9.23. Двигатели с повышенным пусковым моментом изготавливаются по ГОСТ 20818-75, с повышенным скольжением — по ОСТ 16 0.510.026-76, многоскоростных — по ОСТ 16 0.510.038-78.

Двигатели допускают работу при отклонениях параметров сети по напряжению $+6 \div -10\%$ длительно и $+20 \div -30\%$ кратковременно (1,5 с); по частоте $\pm 5\%$ длительно и $\pm 10\%$ кратковременно (5 с).

Из холодного состояния АД могут работать в кратковременных режимах с перегрузкой по мощности: $1,5M_{\text{ном}} - 10$ мин, $1,25M_{\text{ном}} - 30$ мин, $1,1M_{\text{ном}} - 60$ мин.

Из горячего состояния допустимы перегрузка по току на 50 % в течение 2 мин и на 25 % в течение 20 мин и стоянка под током короткого замыкания при номинальном напряжении и частоте длительно не более 8 с для двухполюсных и не более 10 с для остальных АД.

Двигатели допускают продолжительную работу при одновременном снижении напряжения и частоты сети до 65 % номинальных значений. При снижении напряжения и частоты до 80 % мощность снижается до 70 % номинальной, при снижении напряжения и частоты до 65 % мощность снижается до 50 %.

Двигатели могут работать при длительном крене судна до $22,5^\circ$, длительном дифференте до 10° , а также одновременном крене и дифференте в этих пределах; борто-

Таблица 9.23. Технические данные двигателей серии 4А для речных и морских судов гражданского флота

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	$\cos \varphi$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$	Момент инерции, 10^{-2} кг·м ²
Синхронная частота вращения 3000 об/мин									
4А160S2ОМ2	15	2,3	88	0,91	2,2	1,4	1	7,5	5
4А160М2ОМ2	18,5	2,3	88,5	0,92	2,2	1,4	1	7,5	5,4
4А180S2ОМ2	22	2	88,5	0,91	2,2	1,4	1	7,5	7,1
4А180М2ОМ2	30	1,9	90,5	0,9	2,2	1,4	1	7,5	8,6
4А200М2ОМ2	37	1,9	90	0,89	2,2	1,4	1	7,5	14,4
4А200L2ОМ2	45	1,8	91	0,9	2,2	1,4	1	7,5	16,9
4А225М2ОМ2	55	2,1	91	0,92	2,2	1,2	1	7,5	25,1
4А250S2ОМ2	75	1,4	91	0,89	2,2	1,2	1	7,5	46,5
4А250М2ОМ2	90	1,4	92	0,9	2,2	1,2	1	7,5	51,9
Синхронная частота вращения 1500 об/мин									
4А160S4ОМ2	15	2,7	89	0,88	2,2	1,4	1	7	10,3
4А160М4ОМ2	18,5	2,7	90	0,88	2,2	1,4	1	7	12,7
4А180S4ОМ2	22	2	90	0,9	2,2	1,4	1	7	19,6
4А180М4ОМ2	30	2	91	0,89	2,2	1,4	1	7	23,2
4А200М4ОМ2	37	1,7	91	0,9	2,2	1,4	1	7	36,8
4А200L4ОМ2	45	1,8	92	0,9	2,2	1,4	1	7	44,6
4А225М4ОМ2	55	2	92,5	0,90	2,2	1,2	1	7	64
4А250S4ОМ2	75	1,4	93	0,90	2,2	1,2	1	7	102
4А250М4ОМ2	90	1,4	93	0,91	2,2	1,2	1	7	117
Синхронная частота вращения 1000 об/мин									
4А160S6ОМ2	11	3	86	0,86	2	1,2	1	6	13,9
4А160М6ОМ2	15	3	87,5	0,87	2	1,2	1	6	18,2
4А180М6ОМ2	18,5	2,7	88	0,87	2	1,2	1	6	22
4А200М6ОМ2	22	2,5	90	0,9	2	1,2	1	6,5	40
4А200L6ОМ2	30	2,3	90,5	0,9	2	1,2	1	6,5	45,7
4А225М6ОМ2	37	2	91	0,89	2	1,2	1	6,5	76
4А250S6ОМ2	45	1,5	91,5	0,89	2	1,2	1	7	115,4
4А250М6ОМ2	55	1,5	92	0,88	2	1,2	1	7	126
Синхронная частота вращения 750 об/мин									
4А160S8ОМ2	7,5	2,7	86	0,75	2,2	1,4	1	6	13,7
4А160М8ОМ2	11	2,7	87	0,75	2,2	1,4	1	6	18
4А180М8ОМ2	15	2,6	87	0,82	2	1,2	1	6	25
4А200М8ОМ2	18,5	2,5	88,5	0,84	2,2	1,2	1	6	40
4А200L8ОМ2	22	2,7	88,5	0,84	2	1,2	1	6	45,2
4А225М8ОМ2	30	2	90	0,81	2	1,2	1	6	73,9
4А250S8ОМ2	37	1,6	90	0,83	2	1,2	1	6	115,4
4А250М8ОМ2	45	1,4	91,5	0,82	2	1,2	1	6	136
Синхронная частота вращения 300 об/мин									
4АН160S2ОМ2	22	2,8	88	0,88	2,2	1,3	1	7	4,3
4АН160М2ОМ2	30	2,9	90	0,91	2,2	1,3	1	7	5,5
4АН180S2ОМ2	37	1,8	91,5	0,89	2,2	1,2	1	7	8
4АН180М2ОМ2	45	1,9	91	0,91	2,2	1,3	1	7	9,1
4АН200М2ОМ2	55	2	91	0,9	2,2	1,3	1	7	15,9
4АН200L2ОМ2	75	2	92	0,9	2,2	1,3	1	7	19,1
4АН225М2ОМ2	90	2,4	92	0,88	2,2	1,2	1	7	23,8
4АН250S2ОМ2	110	1,6	93,5	0,88	2,2	1,2	1	7	44,2
4АН250М2ОМ2	132	1,9	94	0,9	2,2	1,2	1	7	49,6

Продолжение табл. 9.23

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_p}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_p}{I_{ном}}$	Момент инерции, 10 ⁻² кг·м ²
Синхронная частота вращения 1500 об/мин									
4АН160S4OM2	18,5	3,2	88,5	0,87	2,1	1,3	1	6,5	9,3
4АН160M4OM2	22	2,9	90	0,88	2,1	1,3	1	6,5	11,8
4АН180S4OM2	30	2,3	90	0,84	2,2	1,2	1	6,5	17,7
4АН180M4OM2	37	2,1	90,5	0,89	2,2	1,2	1	6,5	21,8
4АН200M4OM2	45	1,8	91	0,89	2,2	1,2	1	6,5	34,5
4АН200L4OM2	55	1,7	92	0,89	2,2	1,2	1	6,5	42,3
4АН225M4OM2	75	1,6	92,5	0,89	2,2	1,2	1	6,5	60,4
4АН250S4OM2	90	1,4	94	0,88	2,2	1,2	1	6,5	88,2
4АН250M4OM2	110	1,5	93,5	0,89	2,2	1,2	1	6,5	95,7

Синхронная частота вращения 1000 об/мин									
4АН180S6OM2	18,5	2,5	87	0,85	2	1,2	1	6,5	18,7
4АН180M6OM2	22	2,4	88,5	0,87	2	1,2	1	6	23,6
4АН200M6OM2	30	2,3	90	0,88	2	1,2	1	6	37,7
4АН200L6OM2	37	1,9	90,5	0,88	2	1,2	1	6,5	42,9
4АН225M6OM2	45	2	91	0,87	2	1,2	1	6,5	70,2
4АН250S6OM2	55	1,4	92,5	0,86	2	1,2	1	6,5	108,9
4АН250M6OM2	75	1,5	93	0,87	2	1,2	1	7	140

Синхронная частота вращения 750 об/мин									
4АН180S8OM2	15	2,6	86	0,8	1,9	1,2	1	5,5	23,5
4АН180M8OM2	18,5	2,7	87,5	0,8	1,9	1,2	1	5,5	39,6
4АН200M8OM2	22	2,6	89	0,84	1,9	1,2	1	5,5	48,9
4АН200L8OM2	30	2,3	89,5	0,82	1,9	1,2	1	5,5	58,2
4АН225M8OM2	37	2	90	0,81	1,9	1,2	1	5,5	82,5
4АН250S8OM2	45	1,5	91	0,81	1,9	1,2	1	5,5	119,2
4АН250M8OM2	55	1,6	92	0,81	1,9	1,2	1	6	140

вой качке судна на 22,5° с периодом 7–9 с и килевой — до 10° от вертикали; судовой вибрации с частотой 5–30 Гц и ускорением 0,6g; ударных сотрясений с ускорением до 3g при частоте от 40 до 80 ударов в минуту.

Средние значения уровней звука АД и вибраций в зависимости от высоты оси вращения соответствуют указанным в ГОСТ 19523-81.

Двигатели имеют следующие расчетные показатели надежности:

средний срок службы до списания — 20 лет при общей наработке 40 000 ч;
 расчетная долговечность подшипников — 12 000 ч, обмотки — 20 000 ч;
 вероятность безотказной работы — 0,9 при 10 000 ч наработки.

Габаритные, установочные, присоединительные размеры и масса АД в зависимости от формы исполнения по способу монтажа аналогичны данным соответствующих типовых и монтажных исполнений АД серии 4А. Предельные отклонения установочных и присоединительных размеров соответствуют требованиям ГОСТ 8592-79. Допустимое отклонение массы +5%.

Конструкция подшипниковых узлов обеспечивает возможность пополнения и частичной замены смазки подшипников без разборки АД и отсоединения его от приводимого механизма.

Двигатели изготавливаются в соответствии с требованиями ТУ 16-510.795-82.

Предельно допустимые нагрузки на свободные концы валов, включая массу установленного на конце вала механизма, указаны в табл. 9.24. Предельно допустимые нагрузки на фланец двигателей с учетом динамических состояний судна (крена, дифферента, бортовой качки, судовой вибрации и ударов), а также гироскопического момента приведены ниже:

Высота оси вращения, мм	Масса механизма, навешиваемого на фланец, кг	Максимальное расстояние от опорного торца фланца до центра массы механизма, мм
160	32	230
180	44	180
200	80	240
225	100	250
250	160	280

Таблица 9.24. Предельно допустимые нагрузки, Н, на вал

Высота оси вращения, мм	Синхронная частота вращения, об/мин	Двигатель установлен горизонтально		Двигатель установлен вертикально	
		Радиальная нагрузка	Осевая нагрузка	Радиальная нагрузка	Осевая нагрузка
160	3000	600	± 500	600	± 350
	1500	800		800	
	1000	900		900	
	750	1000		1000	
180	3000	700	± 600	700	± 450
	1500	900		900	
	1000	1200		1200	
	750	1500		1500	
200	3000	800	± 700	800	± 500
	1500				
	1000	1000		1000	
	750	1500		1500	
225	3000	800	± 800	800	± 450
	1500				
	1000	1000		1000	
	750	1500		1500	
250	3000	800	± 800 ± 900	800 900	± 450
	1500	900			
	1000	1000		1000	
	750	1800		1900	

9.2.22. Двигатели серии 4А высокоточные (4А...П2)

Двигатели предназначены для работы в продолжительном режиме S1 от сети переменного тока частотой 50 Гц в приводе высокоточных металлорежущих станков. Высокоточные АД выпускаются на базе АД основного исполнения и многоскоростных АД в диапазоне высот оси вращения 56—225 мм и отличаются от них повышенными требованиями к предельным, отклонениям установочных и присоединительных размеров. Обозначаются дополнительно буквой П и цифрой 2 после цифры, указывающей число полюсов. Двигатели имеют степень защиты IP44 и исполнения по способу монтажа:

с высотами оси вращения 56—100 мм — IM1081, IM2081, IM2181, IM3081, IM3681;

с высотами оси вращения 112—160 мм — IM1081, IM2081, IM3081;

с высотами оси вращения 180—225 мм — IM1001, IM3001, IM3011.

Конструкция АД с высотой оси вращения 160—225 мм предусматривает возможность пополнения и частичной замены смазки подшипников без разборки АД.

Технические данные АД приведены в табл. 9.25. По уровню шума двигатели соответствуют следующим классам (ГОСТ 16372-84):

Высота оси вращения h , мм Класс

56—132	3
160 ($2p = 2$)	2
160 ($2p = 4, 6, 8$)	3
200 ($2p = 4$)	3
200 ($2p = 4/2$)	2
225 ($2p = 4/2$)	2

Допустимый уровень шума для АД с высотой оси вращения 180 мм односкоростных — 75 дБ, двухскоростных — 84 дБ, с высотой оси вращения 225 мм односкоростных — 80 дБ (по шкале А).

Вибрация двигателей соответствует следующим значениям:

Высота оси вращения h , мм	Вибрация, мм/с
56—71	0,45
80—100	0,7
112—132	0,71
160 ($2p = 2, 4$)	1,1
160 ($2p = 6, 8$)	0,7
180—200	1,12
225	1,8

Габаритные, установочные и присоединительные размеры аналогичны данным базовых АД основного исполнения, кроме размера d_{30} , который равен:

Тип двигателя	d_{30} , мм
4А71П2	190
4А80П2	204
4А90П2	216
4А100П2	252

Предельные отклонения от номинальных установочных и присоединительных размеров не превышают указанных в табл. 9.26. Неуказанные предельные отклонения размеров — по ГОСТ 8592-79.

Таблица 9.25. Технические данные высокоточных двигателей серии 4А

Типоразмер двигателя	Синхрон- ная частота вращения, об/мин	Мощ- ность, кВт	Скольже- ние, %	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
4А56А4/2П2	1500 3000	0,1 0,14	—	45 50	0,61 0,7	2,2	1,8 1,5	1,8 1,5	3,5 4
4А56В4/2П2	1500 3000	0,12 0,18	—	49 57	0,62 0,72	2,2	1,6 1,2	1,6 1,2	3,5 4
4А63А4/2П2	1500 3000	0,19 0,265	—	55 61	0,66 0,75	2,2	1,6 1,2	1,6 1,2	3,5 4
4А63В4/2П2	1500 3000	0,224 0,37	—	57 61	0,7 0,88	1,9 1,8	1,5 1,1	1,5 1,1	3,5 4
4А71А2П2	3000	0,75	5,3	76	0,87	2,2	2	1,2	5,5
4А71В2П2	3000	1,1	6,3	76,5	0,87	2,2	2	1,2	5,5
4А71А4П2	1500	0,55	8,7	70,5	0,7	2,2	2	1,6	4,5
4А71В4П2	1500	0,75	8,7	74	0,76	2,2	2	1,6	4,5
4А71А6П2	1000	0,37	8	65	0,69	2,2	2	1,6	4
4А71В6П2	1000	0,55	8	69	0,72	2,2	2	1,6	4
4А71В8П2	750	0,25	9,3	59	0,64	1,7	1,6	1	3,5
4А80А2П2	3000	1,5	5	80	0,88	2,2	2	1,5	6,5
4А80В2П2	3000	2,2	5	82	0,87	2,2	2	1,5	6,5
4А80А4П2	1500	1,1	6,7	75	0,81	2,2	2	1,6	5
4А80В4П2	1500	1,5	6,7	77	0,83	2,2	2	1,6	5
4А80А6П2	1000	0,75	8	69	0,74	2,2	2	1,6	4
4А80В6П2	1000	1,1	8	74	0,74	2,2	2	1,6	4
4А80А8П2	750	0,37	10	61,5	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5
4А80В8П2	750	0,55	10	64	0,68	1,7	1,6	1,2	3,5
4А90Л2П2	3000	3	5	83	0,88	2,2	2	1,2	6,5
4А90Л4П2	1500	2,2	6	79	0,83	2,2	2	1,6	6
4А90Л6П2	1000	1,5	7	76	0,75	2,2	2	1,6	6
4А90ЛА8П2	750	0,75	7	68	0,63	1,7	1,6	1,2	4
4А90ЛВ8П2	750	1,1	7	70	0,68	1,7	1,6	1,2	4
4А100S2П2	3000	4	4	86	0,88	2,2	2	1,2	7,5
4А100L2П2	3000	5,5	4	87	0,9	2,2	2	1,2	7,5
4А100S4П2	1500	3	5,5	82	0,83	2,2	2	1,6	6,5
4А100L4П2	1500	4	5,5	84	0,84	2,2	2	1,6	6,5
4А100S6П2	1000	2,2	5	81	0,75	2,2	2	1,6	5,5
4А100L8П2	750	1,5	7	78	0,65	1,7	1,6	1,2	5,5
4А112М2П2	3000	7,5	2,5	87,5	0,88	2,2	2	1	7,5
4А112М4П2	1500	5,5	5	85,5	0,86	2,2	2	1,6	7
4А112МА6П2	1000	3	5,5	81	0,76	2,2	2	1,6	6
4А112МВ6П2	1000	4	5,1	82	0,81	2,2	2	1,6	6
4А112МА8П2	750	2,2	6	76,5	0,68	2,2	1,8	1,4	6
4А112МВ8П2	750	3	6,5	79	0,71	2,2	1,8	1,4	6
4А132М2П2	3000	11	2,3	88	0,9	2,2	1,6	1	7,5
4А132S4П2	1500	7,5	3	87,5	0,86	2,2	2	1,6	7,5
4А132М4П2	1500	11	2,8	87,5	0,87	2,2	2	1,6	7,5
4А132S6П2	1000	5,5	4,1	85	0,8	2,2	2	1,6	7
4А132М6П2	1000	7,5	3,2	85,5	0,81	2,2	2	1,6	7
4А132S8П2	750	4	4,1	81	0,7	2,2	1,8	1,4	6
4А132М8П2	750	5,5	4,5	83	0,74	2,2	1,8	1,4	6

Продолжение табл. 9.25

Типоразмер двигателя	Синхронная частота вращения, об/мин	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
4А160S2П2	3000	15	2,5	86,5	0,89	2,2	1,2	1	7
4А160М2П2	3000	18,5	2,5	88,5	0,89	2,2	1,2	1	7
4А160S4П2	1500	11	2	88,5	0,88	2,2	1,2	1	7
4А160М4П2	1500	15	2	89,5	0,9	2,2	1,2	1	7
4А160S6П2	1000	7,5	2	85,5	0,8	2	1,2	1	6,5
4А160М6П2	1000	11	2,9	86,5	0,8	2	1,2	1	6,5
4А160S8П2	750	5,5	2	83,5	0,66	2	1,2	1	5,5
4А160М8П2	750	7,5	2	84	0,65	2	1,2	1	5,5
4А180S4П2	1500	22	2,5	89	0,86	2	1,4	1,2	6,5
4А180М4П2	1500	30	2	90,5	0,86	2	1,6	1,2	7
4А180S4/2П2	1500	18	2	88,5	0,85	2,2	1,6	1	6,5
	3000	21	2,5	84,5	0,89	2,2	1,4	1	6,5
4А180М4/2П2	1500	22	2	80	0,87	2,2	1,6	1	7
	3000	26,5	2,5	86,5	0,91	2,2	1,6	1	7
4А200М4П2У4	1500	37	2	91	0,87	2,2	1,2	1	7
4А200L4П2У4	1500	45	2	92	0,87	2,2	1,2	1,1	7
4А200L4/2П2У4	1500	33,5	1,5	91,5	0,86	2	1,8	1,2	7
	3000	37	1,5	87	0,9	2,2	1,8	1,2	7,5
4А225М4П2У4	1500	55	1,5	92	0,87	2,2	1,2	1	7
4А225М4/2П2У4	1500	45	1,5	91,5	0,84	2	1,8	1,2	6
	3000	50	1,5	87,5	0,89	2,2	1,8	1,2	7,5

Таблица 9.26. Предельные отклонения размеров и параметров, мм, высокоскоростных асинхронных двигателей серии 4А

Наименование	Высота оси вращения, мм						
	56—63	71—100	112	132	160	180	200—225
Предельное отклонение высоты оси вращения	—	—0,05				—	—0,5
Неплоскостность опорной поверхности лап	0,035	—	0,04	0,06			
Радиальное биение вала относительно оси вращения	—	0,01	0,012			0,02	
Радиальное биение посадочной поверхности фланца относительно оси вращения	0,04	—	0,05		0,06	0,063	
Торцевое биение опорной поверхности фланца относительно оси вращения	0,025	—	0,03		0,04	0,063	

Двигатели выпускаются в соответствии с требованиями: ТУ 16-510.565-75 ($h = 56 \div 63$ мм); ТУ 16-510.543-78 ($h = 71 \div 100$ мм); ТУ 16-510.600-75 ($h =$

$= 112 \div 132$ мм); ТУ 16-510.578-75 ($h = 160$ мм); ТУ 16-510.683-78 ($h = 180$ мм); ТУ 16-510.720-79 ($h = 200 \div 225$ мм).

9.2.23. Двигатели серии 4А лифтовые (4А...НЛБ)

Двигатели предназначены для привода лифтов, устанавливаемых в жилых общественных зданиях и производственных сооружениях. Они разработаны на базе АД защищенного исполнения серии 4А с высотами оси вращения 160–250 мм. Лифтовые АД представляют собой трехфазные короткозамкнутые двухскоростные маломощные АД со встроенной температурной защитой защищенного исполнения (4АН) или исполнения с пристроенным вентилятором, приводимым от отдельного двигателя (4АФ). В обозначении лифтовых АД после числа полюсов указаны буквы: Н — маломощные, Л — лифтовые, Б — со встроенной температурной защитой. Двигатели имеют степень защиты IP10, степень защиты коробки выводов — не ниже IP20 по ГОСТ 17494-72. Способ охлаждения АД с самовентиляцией (4АН) — ICA01, АД с принудительной системой вентиляции (4АФ) — ICA26 по ГОСТ 20459-75. Двигатели изготавливаются следующих исполнений по способу монтажа:

Условное обозначение способа монтажа по ГОСТ 2479-79	Тип двигателя
IM1001	4АН180НЛБ, 4АН200НЛБ, 4АН250НЛБ, 4АФ250НЛБ
IM2001	4АН200НЛБ, 4АФ225НЛБ
IM3001	4АН160НЛБ, 4АН180НЛБ
Климатическое исполнение двигате-	

лей — У и Т, категория размещения — 3 по ГОСТ 15150-69.

Номинальный режим работы АД — повторно-кратковременный с разгоном и работой АД на обмотке большей частоты вращения, последующим переключением и работой на обмотке меньшей частоты вращения и паузой.

Значения ПВ, время пуска, работы и допустимое число пусков (циклов) указаны в табл. 9.27.

Технические данные АД с частотой 50 Гц приведены в табл. 9.28. Допустимые отклонения параметров регламентируются ГОСТ 183-74. На скольжение, пусковой, максимальный, максимальный генераторный моменты и кратности пускового тока допуски по ГОСТ 183-74 не распространяются.

Основные технические данные АД на частоту 60 Гц соответствуют данным АД на частоту 50 Гц, за исключением следующих: синхронной частоты вращения, равной 120% синхронной частоты вращения при 50 Гц;

коэффициента полезного действия и коэффициента мощности, отличающихся от указанных не более чем на 0,01 в сторону понижения;

максимального вращающего момента, большего на 10%, и кратности пускового тока — на 20% по сравнению со значениями этих величин для АД на частоту 50 Гц.

Генераторный момент АД при работе на обмотке меньшей частоты вращения при синхронной частоте вращения $n_c = 1000$ об/мин, отнесенный к максимальному генераторному моменту, и минимальный вращающий момент, отнесенный

Таблица 9.27. Значения ПВ, время пуска, работы и допустимое число пусков

Типоразмер двигателя	Допустимое число включе- ний в час	Общее время цикла, с	Время пуска и работы на об- мотке большей частоты враще- ния, с	ПВ на обмотке большой частоты вращения, %	Время генера- торного тормо- жения и работы на обмотке меньшей частоты вращения, с	ПВ на обмотке меньшей частоты вращения, %
4АН160НЛБ	120	30	18	60	4,5	15
4АН180СВНЛБ	90	40	24	60	6,0	15
4АН180СНЛБ	150	24	9,6	40	3,6	15
4АН200ЛНЛБ	90; 200	40; 18	24; 7	60; 40	6,5; 4,5	15; 25
4АФ225СНЛБ	200	18	7	40	4,5	25
4АН250СНЛБ	200	18	7	40	4,5	25
4АФ250МАНЛБ	200	18	7	40	4,5	25
4АН250МАНЛБ	90	40	24	60	6,0	15
4АН250МВНЛБ	90	40	24	60	6,0	15

Таблица 9.28. Технические данные лифтовых двигателей серии 4А

Типоразмер двигателя	Синхронная частота вращения, об/мин	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	cos φ	$\frac{I_p}{I_{ном}}$	M_p , Н·м	M_{max} , Н·м	
								Двигательный режим	Генераторный режим
4АН160S6/18НЛБ	1000	3	5	73	0,6	4,5	78,0—94,5	86—107,8	—
	333	1	15	—	—	2	Не менее 63,5	Не менее 63,5	86—107,8
4АН180SB6/18НЛБ	1000	3,55	5	80,5	0,71	7	93,0—113,0	107,5—127,5	—
	333	1,18	10	45	0,31	2,5	Не менее 73,5	Не менее 73,5	109,5—137,5
4АН180S6/18НЛБ	1000	4,5 *	6	85	0,71	6	115,5—137,5	127,0—152	—
	333	1,5	15	45	0,38	2,5	Не менее 88	Не менее 88	122,5—152
4АН200L6/24НЛБ	1000	7	6	84	0,78	5,5	176—211	196—235,5	—
	250	1,75	13	30	0,35	2,5	Не менее 132	Не менее 132	191—235,5
4АФ225М6/24НЛБ	1000	9	5	86	0,77	6,5	235,5—274,5	235,5—284,5	—
	250	2,25	15	43	0,4	2,5	Не менее 191,0	Не менее 191,0	254,5—312
4АН250S6/24НЛБ	1000	12	5	88	0,7	6	295—355	295—375	—
	250	3	12	35	0,35	2	Не менее 255	Не менее 255	355—450
4АФ250МА6/24НЛБ 4АН250МА6/24НЛБ	1000	16	5	87,5	0,72	6	410—490	490—540	—
	250	4	12	36	0,35	2	Не менее 315	Не менее 315	490—570
4АН250МВ6/24НЛБ	1000	20	5	90	0,75	6	490—590	490—620	—
	250	5	12	38	0,35	2	Не менее 410	Не менее 490	590—735

к пусковому моменту, — не менее значений, указанных ниже:

Тип АД	Генера- торный момент, %	Мини- мальный вращающий момент, %
4АН160	85	80
4АН180	80	90
4АН200	70	80
4АФ225	85	80
4АН250, 4АФ250	75	85

Лифтовые АД из холодного состояния допускают работу на обмотке меньшей частоты вращения в течение 15 мин (двигатель 4АН160 — в течение 10 мин) с моментом, равным $0,5M_{ном}$.

Допустимые средние значения уровня звука на расстоянии 1 м от контура АД, дБ (по шкале А), соответствуют указанным ниже:

Тип АД	В устано- вившемся режиме	В пере- ходном режиме
4АН160, 4АН180	62	72
4АН200, 4АФ225	67	77
4АН250S		
4АФ250МА,	69	79
4АН250МА		
4АН250МВ	72	82

Для АД с принудительной системой вентиляции допустимые значения средних уровней звука указаны при работающем вентиляторе.

Значения вибрации АД соответствуют классу 1,8 по ГОСТ 16921-83.

Для лифтовых АД установлены следующие показатели надежности:

средний срок службы до списания — не менее 15 лет при общей наработке 40 000 ч; вероятность безотказной работы $P = 0,9$ при доверительной вероятности 0,8 за 10 000 ч при номинальной нагрузке в номинальных режимах работы;

вероятность безотказной работы в аварийных режимах 0,98 обеспечивается термозащитой.

Условия эксплуатации двигателей в части воздействия механических факторов внешней среды — по группе условий МЗ. При эксплуатации двигатели длительно выдерживают вибрационные нагрузки с частотой 1–35 Гц и ускорением $0,1g$, вызванные исполнительным механизмом.

Габаритные установочные и присоединительные размеры лифтовых АД указаны на рис. 9.13, а–з.

Предельные отклонения установочных и присоединительных размеров — по ГОСТ 8592-79. Допустимое отклонение массы + 5%.

Лифтовые АД изготавливаются в соответствии с требованиями ТУ 16-510.778-81 (4АН160); ТУ 16-510.615-81 (4АН180); ТУ 16-510.704-79 (4АН200–4АФ225); ТУ 16-510.787-82 (4АН250, 4АФ250).

9.2.24. Двигатели серии 4А частотно-регулируемые (4А...Б2П...ПБ)

Двигатели предназначены для привода подач и главного движения станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Двигатели разработаны на базе АД серии 4А закрытого исполнения с высотой оси вращения 90–160 мм. Они представляют собой трехфазные короткозамкнутые АД закрытого исполнения повышенной точности по установочным и присоединительным размерам с естественным охлаждением и встроенной температурной защитой. В обозначениях дополнительно указано: после обозначения серии и материала станины: Б — закрытое исполнение с естественным охлаждением, 2П — с регулируемой частотой вращения; после числа полюсов: П — повышенной точности, Б — со встроенной температурной защитой.

Степень защиты — IP44 по ГОСТ 17494-72, способ охлаждения — ICA0041 по ГОСТ 20459-75. Форма исполнения по способу монтажа по ГОСТ 2479-79: для привода подач — IM3009; для привода главного движения IM1009, IM3009.

Климатическое исполнение — УХЛ, категория размещения — 4 по ГОСТ 15150-69.

Номинальный режим работы АД — при питании от полупроводникового преобразователя с синусоидальной формой тока и коэффициентом искажения не более 0,05, продолжительный — S1 во всем диапазоне регулирования.

Технические данные частотно-регулируемых АД в продолжительном режиме работы с эквивалентной двигателям серии 4А системой охлаждения, при номинальном напряжении и питании от промышленной сети частотой 50 Гц и длительно допустимый момент при регулировании указаны в табл. 9.29. Допустимые отклонения основных параметров — по ГОСТ 183-74.

Регулирование частоты вращения АД осуществляется в следующих диапазонах: для привода подач — от 0 до 1000 об/мин; для привода главного движения — от 0 до 4000 об/мин.

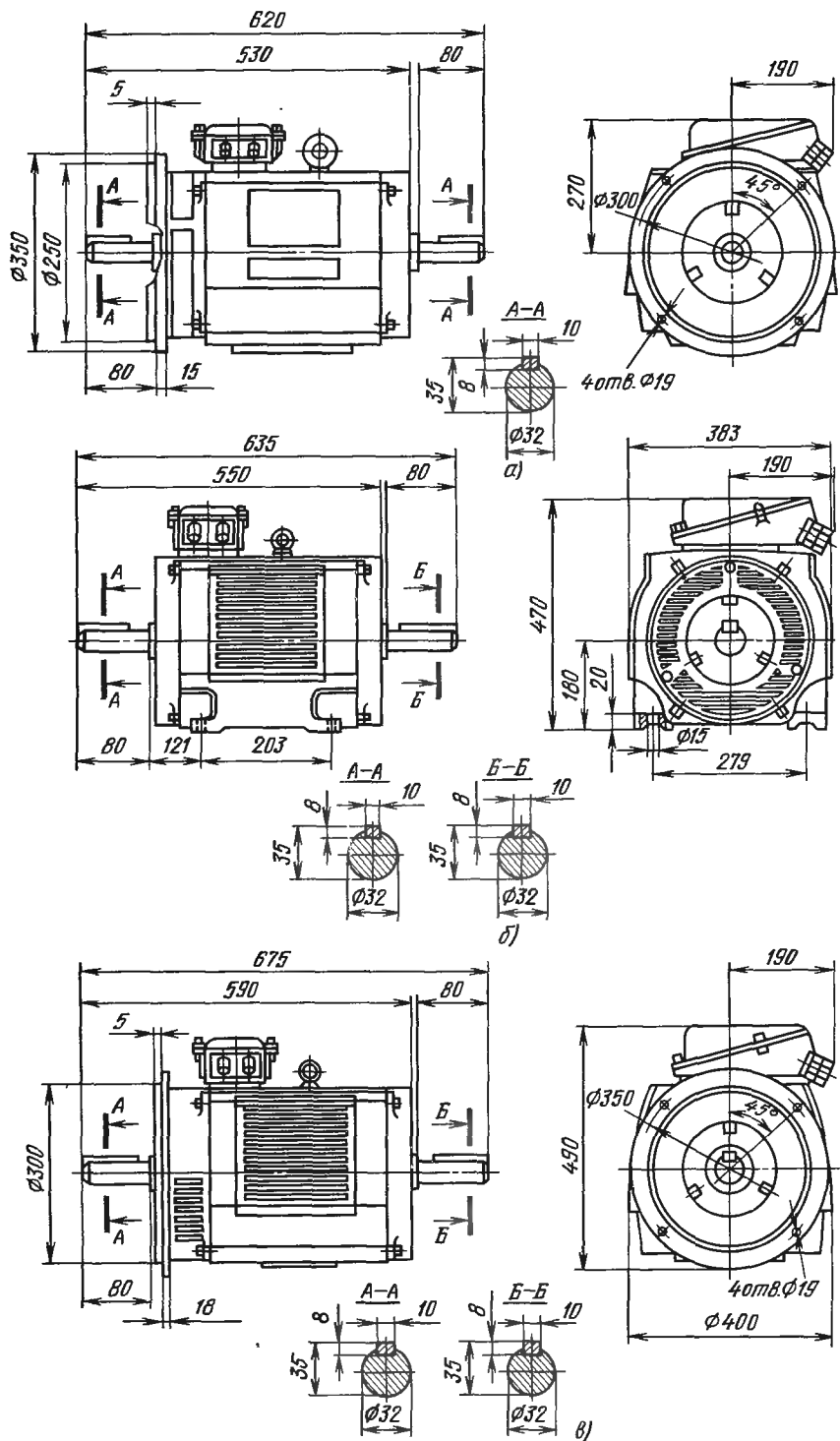


Рис. 9.13. Габаритные, установочные и присоединительные размеры лифтовых двигателей серии 4А:

а — 4АН160НЛБ, исполнение 1М3001 (масса 115 кг); б — 4АН180НЛБ, исполнение 1М1001 (масса 160 кг); в — 4АН180НЛБ, исполнение 1М3001 (масса 165 кг);

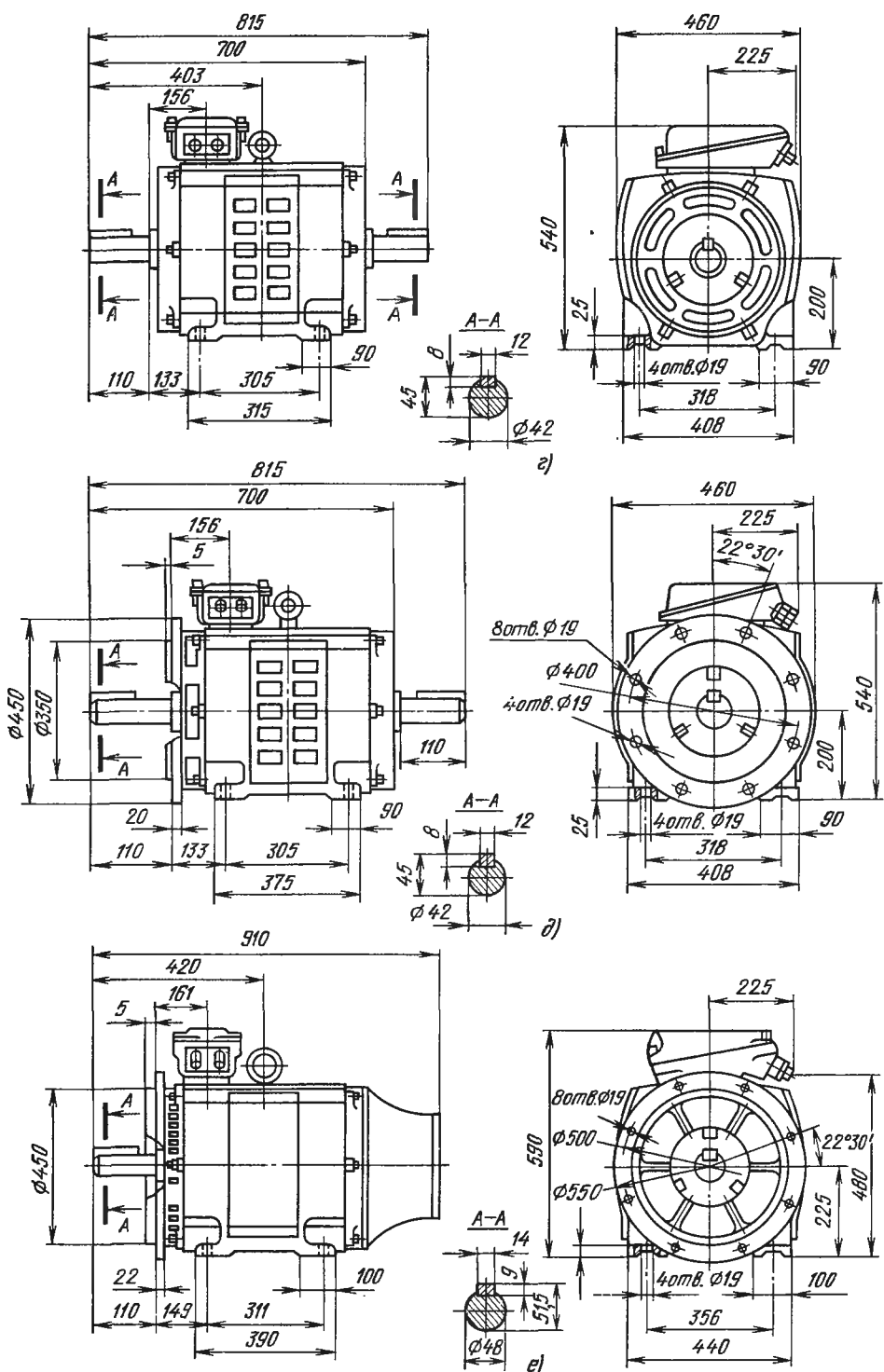


Рис. 9.13. Продолжение

— 4АН200ЛНЛБ, исполнение 1М1001 (масса 285 кг); д — 4АН200ЛНЛБ, исполнение 1М2001 (масса 300 кг); е — 4АФ225НЛБ, исполнение 1М2001 (масса 395 кг);

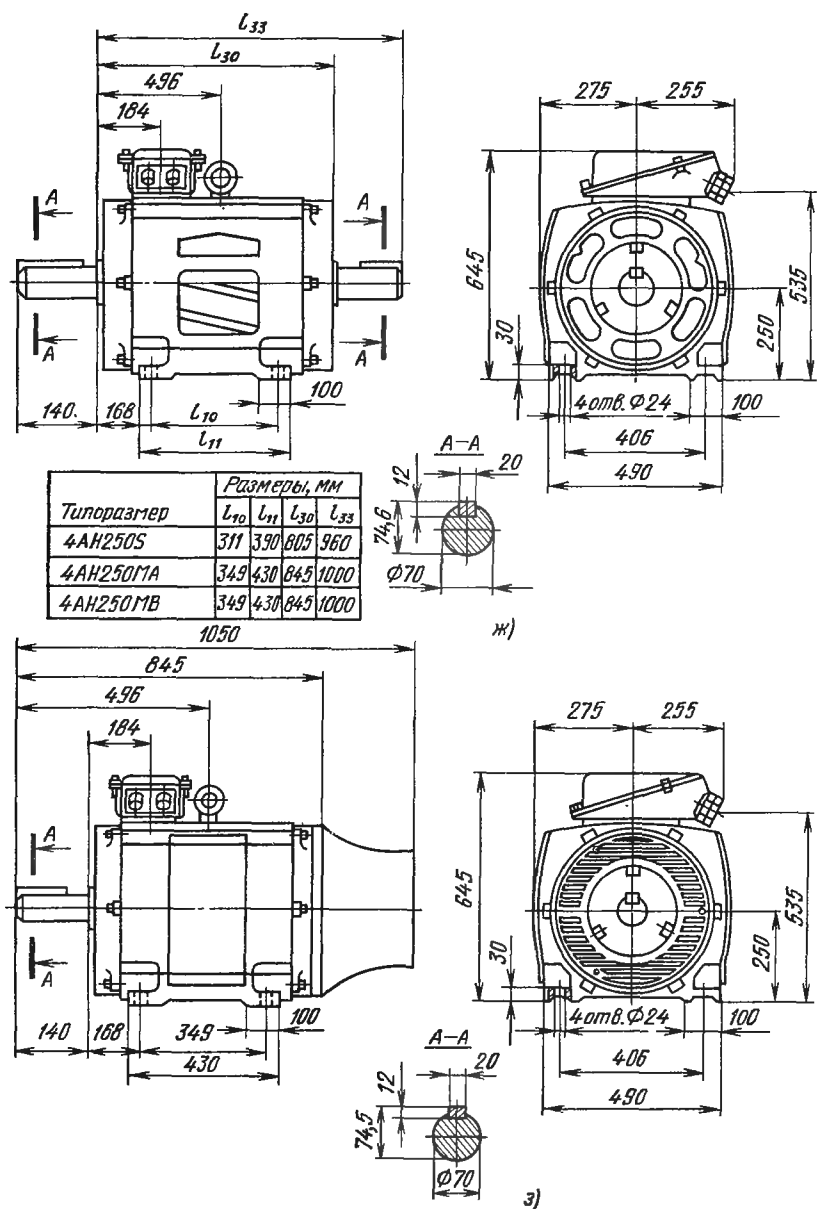


Рис. 9.13. Продолжение

жс — 4АН250НЛБ, исполнение 1М1001 (масса 4АН250С — 440 кг; 4АН250МА — 470 кг; 4АН250МВ — 510 кг); з — 4АФ250МАНЛБ, исполнение 1М1001 (масса 475 кг)

Регулирование частоты вращения АД привода подач в диапазоне от 0 до 500 об/мин и АД привода главного движения в диапазоне от 0 до 1500 об/мин осуществляется с постоянным моментом, равным длительно допустимому, и с по-

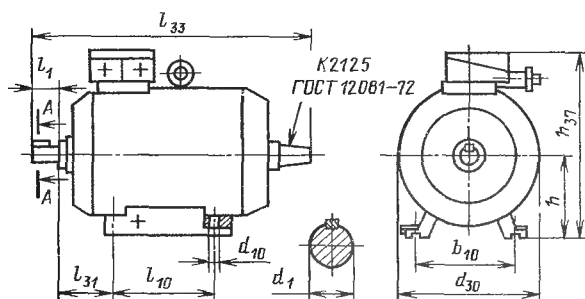
стоянным магнитным потоком, обеспечивающим кратность максимального момента, близкую к 2,2. Дальнейшее регулирование производится с постоянными мощностью и напряжением, равными по значению мощности и напряжению при частоте враще-

Типоразмер двигателя	Длительно допустимый момент при регулировании, Н·м	Мощность, кВт	КПД, %	cosφ
4АХБ2П90Л4ПБ	10	2,2	80	0,83
4АХБ2П100С4ПБ	13	3,0	82	0,83
4АХБ2П100Л4ПБ	17	4,0	84	0,84
4АБ2П112М4ПБ	21	5,5	85,5	0,85
4АБ2П132С4ПБ	35	7,5	87,5	0,86
4АБ2П132М4ПБ	47	11	87,5	0,87
4АБ2П160С4ПБ	65	15	88,5	0,88
4АБ2П160М4ПБ	30	18,5	90	0,88

3. $M_{max}/M_{доп} - 2$, где $M_{доп}$ — длительно допустимый момент.

[illegible]

Таблица 9.31. Габаритные, установочные и присоединительные размеры частотно-управляемых двигателей серии 4А, исполнение по способу монтажа — ИМ1009



Типоразмер двигателя	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм							Масса, кг
	l_{33}	h_{37}	d_{30}	l_1	d_1	l_{31}	l_{10}	b_{10}	d_{10}	h	
4АБ2П132М4ПБ	505	350	302	80	38	89	178	216	12	132	91
4АБ2П160С4ПБ	576,5	430	346	110	48	108	178	254	15	162	130
4АБ2П160М4ПБ	619,5						210				150

ния 500 об/мин для привода подачи и 1500 об/мин для привода главного движения.

По уровню шума в режиме холостого хода при питании от промышленной сети частотой 50 Гц и номинальном напряжении АД соответствуют классу 2 по ГОСТ 16372-84. Классе вибрации АД с высотой оси вращения 90—112 мм — 1,1, с высотой оси вращения 132, 160 мм — 1,8 по ГОСТ 16921-83 (питание — от промышленной сети частотой 50 Гц, номинальным напряжением).

Вероятность безотказной работы — не менее 0,9 при 10 000 ч наработки. Средний срок службы — не менее 15 лет при общей наработке 40 000 ч. Условия эксплуатации АД в части воздействия механических факторов — по группе М6 ГОСТ 17516-72 (вибрационные нагрузки с частотой 2—100 Гц и максимальным ускорением 1g; одиночные и многократные удары отсутствуют).

Габаритные, установочные, присоединительные размеры и масса АД в зависимости от формы исполнения по способу монтажа указаны в табл. 9.30, 9.31.

Предельные отклонения установочных и присоединительных размеров соответствуют требованиям ГОСТ 8592-79 для повышенной точности. Конструкция АД обеспечивает возможность присоединения со стороны, обратной приводу, датчиков частоты

вращения и углового положения ротора (датчиков обратной связи). Второй конец вала для посадки подвижных узлов датчиков обратной связи выполнен коническим по ГОСТ 12081-72. Осевой люфт вала со стороны подсоединения датчиков не превышает 0,4 мм, что обеспечивается конструкцией подшипниковых узлов.

Двигатели изготавливаются в соответствии с требованиями ТУ 16-510.775-81 ($h = 90 \div 100$ мм); ТУ 16-510.780-81 ($h = 112 \div 132$ мм); ТУ 16-510.760-81 ($h = 160$ мм).

9.2.25. Двигатели серии 4А для привода деревообрабатывающих станков (4АХД)

Двигатели для привода деревообрабатывающих станков выпускаются на базе основного исполнения серии 4А с высотой оси вращения 100 мм. Двигатели соответствуют ТУ 16-510.618-81 и рассчитаны на питание от сети с частотой тока 50 или 100 Гц. Технические данные АД для привода деревообрабатывающих станков приведены в табл. 9.32.

9.3. Асинхронные двигатели общего назначения серии 4АМ

Двигатели серии 4АМ являются модернизацией двигателей серии 4А. Модерниза-

Таблица 9.32. Технические данные двигателей для привода деревообрабатывающих станков (4АХД)

Типоразмер двигателей	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота тока, Гц	Частота вращения, об/мин	Масса, кг
4АХД100SA2ПУЗ	4	220	50	2880	40,8
4АХД100SA2ПУЗ	4	380	50	2880	40,8
4АХД100SB2ПУЗ	5,5	380	50	2880	45
4АХД100SA2ПУЗ	5,5	220	100	5760	40,8
4АХД100SA2ПУЗ	5,5	330	100	5760	40,8
4АХД100SB2ПУЗ	5,5	220	50	2880	45
4АХД100SB2ПУЗ	5,5	380	50	2880	45
4АХД100SB2ПУЗ	7,5	220	100	5760	45
4АХД100SB2ПУЗ	7,5	330	100	5760	45
4АХД100М2ПУЗ	7,5	220	50	2880	66
4АХД100М2ПУЗ	7,5	380	50	2880	66
4АХД100SA2ПУЗ	4	220	50	2880	40,8
4АХД100SA2ПУЗ	4	380	50	2880	40,8
4АХД100SA2ПУЗ	5,5	220	100	5760	40,8
4АХД100SA2ПУЗ	5,5	330	100	5760	40,8
4АХД100SB2ПУЗ	5,5	220	50	2880	45
4АХД100SB2ПУЗ	5,5	380	50	2880	45
4АХД100SB2ПУЗ	7,5	220	100	5760	45
4АХД100SB2ПУЗ	7,5	330	100	5760	45
4АХД100М2ПУЗ	7,5	220	50	2880	45
4АХД100М2ПУЗ	7,5	380	50	2880	45

ция позволила снизить уровень шума на 5 дБ, повысить значения некоторых основных параметров, уменьшить массу АД.

По номинальным значениям параметров, климатическим факторам окружающей среды, условиям эксплуатации, транспортирования и хранения АД серии 4АМ соответствуют АД серии 4А со степенью защиты IP44 по ГОСТ 17494-72. Двигатели изготавливаются на напряжения, соответствующие напряжениям серии 4А, имеют степень защиты IP44 (ГОСТ 17494-72) и способ охлаждения ICA0141 (ГОСТ 20459-75).

Номинальный режим работы АД серии 4АМ — продолжительный S1 по ГОСТ 183-74.

Обозначение типов АД серии 4АМ аналогично обозначению АД серии 4А и дополнено буквой М (модернизированный), которая для двигателей с высотой оси вращения 50—63 мм ставится после обозначения исполнения АД по материалу станины и щитов (4ААМ), для двигателей с высотой оси вращения 71—250 мм — после обозначения вида двигателя (4АМ).

Типы двигателей серии 4АМ основного исполнения и их основные параметры в продолжительном режиме работы S1 по ГОСТ

183-74, имеющие энергетические показатели, отличные от данных соответствующих типов АД серии 4А, указаны в табл. 9.33.

Класс вибрации АД серии 4АМ и показатели надежности аналогичны классу вибрации и показателям надежности АД серии 4А.

Конструктивные исполнения АД по способу монтажа соответствуют исполнениям АД серии 4А.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры АД серии 4АМ аналогичны размерам соответствующих типов и конструктивных исполнений АД серии 4А, за исключением размеров d_{30} и l_{30} (см. рис. к табл. 9.8), значения которых указаны ниже:

Тип АД	d_{30} , мм		
4АМ112М, 4АМХ112М,			
4АМ132S, 4АМХ132S	247		
4АМ132М, 4АМХ132М	290		
Тип АД	l_{30} , мм при числе полюсов		
	2	4	6,8
4АМ160S, 4АМХ160S	637	637	637
4АМ160М, 4АМХ160М	680	680	680
4АМ180S	662	662	662
4АМ180М	662	702	662

4АМ200М	715	790	745
4АМ200S	760	830	790
4АМ225М	810	840	810
4АМ250S*	915	915	855
4АМ250М**	955	955	915

Масса АД серии 4АМ в зависимости от числа полюсов, конструктивного исполнения по способу монтажа и материала станины и подшипниковых щитов указана в табл. 9.34.

Отличительным в конструкции АД серии 4АМ от конструкции АД серии 4А является:

станина с продольными горизонтально-

* При $2p = 10$ $I_{30} = 855$ мм.
 ** При $2p = 10$ $I_{30} = 915$ мм.

Таблица 9.33. Технические данные двигателей 4АМ

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	$\cos \phi$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
----------------------	---------------	---------------	--------	-------------	---------------------------	-------------------------	---------------------------	-------------------------

Синхронная частота вращения 3000 об/мин

4ААМ50А2У3	0,09	8,6	60	0,75	2,2	2	1,2	5
4ААМ50В2У3	0,12	9,7	63	0,75	2,2	2	1,2	5
4АМ112М2У3	7,5	2,5	87,5	0,88	2,2	2,1	1	7,5
4АМ132М2У3	11	2,3	88	0,9	2,2	1,8	1	7,5
4АМ160S2У3	15	3	88	0,9	2,7	1,6	1,3	7
4АМ160М2У3	18,5	3	89	0,9	2,7	1,6	1,3	7
4АМ180S2У3	22	2,5	89,5	0,89	2,7	1,5	1,3	7,5
4АМ180М2У3	30	2	91	0,89	2,7	1,5	1,3	7,5
4АМ200М2У3	37	2	91	0,89	2,8	1,4	1,2	7
4АМ200L2У3	45	2	91	0,89	2,8	1,4	1,2	7
4АМ225М2У3	55	2	91	0,92	2,8	1,4	1,2	7,5
4АМ250S2У3	75	2	91	0,89	2,8	1,4	1,2	7,5
4АМ250М2У3	90	2	92	0,9	2,8	1,4	1,2	7,5

Синхронная частота вращения 1500 об/мин

4ААМ50А4У3	0,06	8,1	53	0,63	2,2	2	1,2	5
4ААМ50В4У3	0,09	8,6	57	0,65	2,2	2	1,2	5
4АМ160S4У3	15	2,5	89	0,88	2,6	1,6	1,3	7,5
4АМ160М4У3	18,5	2	90	0,88	2,6	1,6	1,3	7,5
4АМ180S4У3	22	2	90,5	0,89	2,5	1,6	1,3	6,5
4АМ180М4У3	30	2	91	0,89	2,5	1,5	1,3	6,5
4АМ200М4У3	37	2	91,5	0,89	2,4	1,5	1,2	6,5
4АМ200L4У3	45	2	92	0,89	2,4	1,5	1,2	6,5
4АМ225М4У3	55	2	92,5	0,89	2,2	1,4	1,2	6,5
4АМ250S4У3	75	2	93	0,89	2,2	1,3	1,2	6,5
4АМ250М4У3	90	1	93	0,89	2,2	1,3	1,2	6,5

Синхронная частота вращения 1000 об/мин

4АМ160S6У3	11	2,5	86,5	0,82	2,5	1,5	1,3	6,5
4АМ160S6У3								

Продолжение табл. 9.33

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
4AM160M6Y3	15	2,5	88	0,82	2,5	1,5	1,3	6,5
4AMX160M6Y3								
4AM180M6Y3	18,5	2,5	88	0,85	2	1,5	1,3	6,5
4AM200M6Y3	22	2	90	0,86	2,3	1,5	1,3	6,5
4AM200L6Y3	30	2	90,5	0,86	2,3	1,5	1,3	6,5
4AM225M6Y3	37	2	91	0,86	2	1,5	1,2	6,5
4AM250S6Y3	45	1,5	91,5	0,85	2	1,3	1,1	6,5
4AM250M6Y3	55	1,5	92	0,85	2	1,3	1,1	6,5

Синхронная частота вращения 750 об/мин

4AM71B8Y3	0,25	10	58	0,66	1,7	1,6	1,2	3,5
4AMA71B8Y3								
4AMX71B8Y3								
4AM80A8Y3	0,37	10	62	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5
4AMA80A8Y3								
4AMX80A8Y3								
4AM90LA8Y3	0,75	7	70	0,66	1,7	1,6	1,2	3,5
4AMA90LA8Y3								
4AMX90LA8Y3								
4AM90LB8Y3	1,1	7	72	0,7	1,7	1,6	1,2	3,5
4AMA90LB8Y3								
4AMX90LB8Y3								
4AM100L8Y3	1,5	10	76	0,73	1,7	1,6	1,2	5,5
4AMA100L8Y3								
4AMX100L8Y3								
4AM132M8Y3	5,5	4,5	83	0,74	2,2	2	1,4	6
4AMX132M8Y3								
4AM160S8Y3	7,5	2,7	86	0,75	2,2	1,5	1,1	6
4AMX160S8Y3								
4AM160M8Y3	11	2,7	87	0,75	2,2	1,5	1,1	6
4AMX160M8Y3								
4AM180M8Y3	15	2,5	88	0,83	2,2	1,4	1,1	5,5
4AM200M8Y3	18,5	2	88,5	0,8	2	1,4	1,1	5,5
4AM200L8Y3	22	2	88,5	0,8	2	1,4	1,1	5,5
4AM225M8Y3	30	2,0	90	0,8	2	1,4	1,1	5,5
4AM250S8Y3	37	1,5	90,5	0,8	2	1,4	1,1	5,5
4AM250M8Y3	45	1,5	91,5	0,8	2	1,3	1,1	5,5

Синхронная частота вращения 600 об/мин

4AM250S10Y3	30	1,9	88,5	0,8	1,9	1,2	1	6
4AM250M10Y3	37	1,9	89	0,8	1,9	1,2	1	6

вертикальными ребрами для АД с высотами оси вращения 132, 160 и частично 100 мм;

промежуточные станины с укороченной длиной по сравнению со станинами серии 4А для 6- и 8-полюсных АД с высотой оси вращения 200—250 мм;

применение закрытых подшипников типа 180000 с двусторонним уплотнением и заложеной на весь срок службы смазкой для АД основного исполнения с высотой оси вращения 160, 180 мм;

упрощение конструкции подшипниковых узлов с пополнением смазки;

Таблица 9.34. Конструктивное исполнение и масса двигателей серии 4АМ

Тип АД	Число полюсов	Масса двигателей, кг				
		Конструктивное исполнение по ГОСТ 2479-79				
		IM1081	IM2081	IM2181	IM3081	IM3681
4ААМ50А	2	2,8	2,9	2,8	2,8	2,7
	4	2,8	2,9	2,8	2,8	2,7
4ААМ50В	2	2,9	3	2,9	2,9	2,8
	4	3	3,1	3	3	2,9
4ААМ56А	2	3,9	4,1	3,9	3,9	3,7
	4	3,8	4	3,8	3,9	3,6
4ААМ56В	2	4,3	4,5	4,3	4,3	4,1
	4	4,1	4,3	4,1	4,2	4
4ААМ63А	2	5,3	5,4	5,3	5,3	5,2
	4	5,2	5,3	5,2	5,2	5,1
	6	5,1	5,2	5,1	5,3	5,2
4ААМ63В	2	5,8	5,9	5,8	5,8	5,7
	4	5,5	5,7	5,5	5,4	5,3
	6	6,1	5,8	6,1	5,8	5,7
4АМ71А, 4АМА71А, 4АМХ71А	2	13,6/9/10,3				
	4	13,3/8,7/10				
	6	13,4/8,8/10,4				
4АМ71В, 4АМА71В, 4АМХ71В	2	14,4/9,8/11,2				
	4	14,1/9,4/10,8				
	6	14,5/10,2/11,5				
	8	13,6/9/10,3				
4АМ80А, 4АМА80А, 4АМХ80А	2	17,1/13/14,3				
	4	16,6/12,5/13,8				
	6	16,3/12,2/13,5				
	8	16,2/12,2/13,4				
4АМ80В, 4АМА80В, 4АМХ80В	2	19,5/15/16,3				
	4	18,9/14,4/15,7				
	6	20/15,5/16,8				
	8	18,6/14,1/15,4				
4АМ90Л, 4АМА90Л, 4АМХ90Л	2	25,2/19,2/20,4				
	4	24,7/18,7/20,2				
	6	25,3/19,3/20,8				
4АМ90ЛА, 4АМА90ЛА, 4АМХ90ЛА	8	24,3/18,2/19,7				
4АМ90ЛБ, 4АМА90ЛБ, 4АМХ90ЛБ	8	27,4/21,4/22,3				

Продолжение табл. 9.34

Тип АД	Число полюсов	Масса двигателей, кг				
		Конструктивное исполнение по ГОСТ 2479-79				
		IM1081	IM2081	IM2181	IM3081	IM3681
4AM100S, 4AMA100S, 4AMX100S	2 4	34,6/26,6/29,3 33,1/23/27,9				
4AM100L, 4AMA100L, 4AMX100L	2 4 6 8	40,5/32/34,3 39/29/33,6 37/28,6/30,9 37,5/28,8/31,3				
4AM112M, 4AMX112M, 4AM112MA, 4AMX112MA	2 4 6 8	IM1081, IM2081, IM3081				
		54//45				
		52//44				
		46//37				
		46//37				
4AM112MB 4AMX112MB	6 8	54//45 54//45				
4AM132S 4AMX132S	4 6 8	72//61 71//58 71//58				
4AM132M 4AMX132M	2 4 6 8	84//68 90//76 90//74 90//74				
4AM160S, 4AMX160S	2 4 6,8	IM1081	IM2081	IM3081, IM3011, IM3031		
		130//100	135//105	130//105		
		135//110	140//115	135//115		
		130//110	135//115	130//115		
4AM160M, 4AMX160M	2 4 6,8	145//110 155//125 160//130	150//115 160//130 165//135	145//115 155//130 160//135		
4AM180S	2 4	165 175	175 185	170 180		
4AM180M	2 4 6 8	185 195 180 190	195 205 190 200	190 200 185 195		
4AM200M	2 4 6,8	250 270 255	265 285 270	255 275 260		

Продолжение табл. 9.34

Тип АД	Число полюсов	Масса двигателей, кг		
		Конструктивное исполнение по ГОСТ 2479-79		
		IM1081	IM2081	IM3081, IM3011, IM3031
4АМ200L	2	275	290	280
	4	300	315	305
	6,8	280	295	285
4АМ225M	2	350	370	365
	4	355	375	370
	6,8	325	345	340
4АМ250S	2	485	510	505
	4	490	515	510
	6,8	425	450	445
	10	410	435	430
4АМ250M	2	525	550	545
	4	536	560	555
	6,8	470	495	490
	10	460	485	480

Примечание. Через разделительную черту (/) указана масса АД соответственно со станиной и щитами из чугуна (4АМ), со станиной и щитами из алюминия (4АМА), со станиной из чугуна и алюминиевыми щитами (4АМХ). Через две разделительные черты (//) указана масса АД соответственно со станиной и щитами из чугуна (4АМ), со станиной из чугуна и алюминиевыми щитами (4АМХ).

увеличение числа лопастей вентиляторов 4-, 6- и 8-полюсных АД с высотой оси вращения 160–250 мм до девяти и уменьшение для них диаметра кожухов вентиляторов.

Во всем остальном АД серии 4АМ соответствуют АД серии 4А.

Структура серии 4АМ (наличие модификаций и специализированных исполнений) аналогична структуре серии 4А.

1. Двигатели основного исполнения (4АМ):

h, мм	ТУ
50	16-510.766-81
56	16-510.755-81
63	16-510.770-81
71–100	16-510.776-81
112–132	16-510.781-81
160–250	16-510.810-83

2. Двигатели с повышенным пусковым моментом (4АМР) h = 160 ÷ 250 мм – ТУ 16-525.579-84.

3. Двигатели с повышенным скольжением (4АМС):

h, мм	ТУ
71–100	16-525.030-83
112–132	16-510.806-83
160–250	16-526.562-84

4. Многоскоростные двигатели:

h, мм	ТУ
56–63	16-510.774-81
71–100	16-525.556-84
112–132	16-510.805-83
160–250	16-526.580-84

5. Двигатели на частоту сети 60 Гц – по нормативным документам основного исполнения.

6. Двигатели нормальной и повышенной точности по установочным размерам для моноблочных насосов:

h, мм	ТУ
80–100	16-525.557-84
112–132	16-510.816-83
160–180	16-526.587-84

7. Двигатели со встроенной температурной защитой:

основного исполнения:

h = 71 ÷ 100 мм	ТУ 16-510.776-81
h = 112 ÷ 132 мм	ТУ 16-510.826-83

сельскохозяйственного назначения:

h = 71 ÷ 100 мм	ТУ 16-510.827-83
---------------------------	------------------

8. Двигатели тропического исполнения:

h , мм	ТУ
50	16-510.566-81
63	16-510.770-81
71—100	16-510.776-81
160—250	16-510.810-83

 h , мм

ТУ

56—71	16-510.773-81
80—112	16-525.031-83
160—250	16-526.589-84

15. Двигатели повышенной точности по установочным размерам:

основного исполнения:

9. Двигатели химостойкого исполнения:

h , мм	ТУ
71—100	16-510.776-81
112—132	16-510.781-81
160—250	16-510.810-83

$h = 112 \div 132$ мм . .	16-510.781-81
$h = 160 \div 250$ мм . .	16-510.810-83

с повышенным скольжением:

$h = 112 \div 132$ мм . .	ТУ 16-510.806-83
$h = 160 \div 250$ мм . .	ТУ 16-526.562-84

10. Двигатели сельскохозяйственного назначения:

h , мм	ТУ
56—63	16-510.767-81
71—100	16-510.827-83
160—200	16-526.541-84

многоскоростные:

$h = 160 \div 250$ мм . .	ТУ 16-526.580-84
---------------------------	------------------

9.4. Асинхронные двигатели общего назначения серии АИ

9.4.1. Характеристика серии

11. Двигатели пылезащищенного исполнения:

основного исполнения:

h , мм	ТУ
56—63	16-510.834-83
112—132	16-510.781-81
160—250	16-510.810-83

с повышенным пусковым моментом:

$h = 160 \div 250$ мм . .	ТУ 16-525.579-84
---------------------------	------------------

12. Двигатели для гражданского морского и речного флота:

h , мм	ТУ
56—63	16-525.555-84
71—100	16-510.825-83
112—132	16-525.547-84

13. Двигатели для зубчатых мотор-редукторов:

$h = 71 \div 100$ мм . . .	ТУ 16-525.558-84
$h = 112 \div 132$ мм . .	ТУ 16-510.822-83

14. Двигатели, соответствующие по привязке мощностей установочным размерам (нормальной и повышенной точности):

Двигатели серии АИ являются новой, разработанной совместно со странами Интерэлектро унифицированной серией АД, отвечающих перспективному уровню развития мирового электромашиностроения. Они предназначены для нужд народного хозяйства и поставок на экспорт в страны с умеренным и тропическим климатом. Двигатели серии АИ должны полностью заменить АД серии 4А, ее модификации и АД модернизированной серии 4АМ.

Серия имеет шкалу мощностей, аналогичную шкале серии 4А, и состоит из 34 ступеней от 0,025 до 400 кВт. Выполнена в 18 габаритах, характеризующихся значениями высоты оси вращения от 45 до 355 мм.

Структура унифицированной серии АД предусматривает наличие следующих групп исполнений: основного, модификаций по характеристикам, по условиям окружающей среды, по точности установочных размеров, с дополнительными устройствами, узкоспециализированного.

Привязка мощностей к установочным размерам в АД серии предусмотрена в двух вариантах:

I вариант — привязка в соответствии с РС-3031-71 для АД с высотами оси вращения 45—355 мм и степенями защиты IP44 (IP54) и (IP23), предназначенных для внутри-союзных поставок и поставок на экспорт;

II вариант — привязка в соответствии с нормами CENELEK-DOKUMENT 28/64

для АД с высотами оси вращения 56—315 мм и степенью защиты IP44 (IP54), предназначенных только для поставок на экспорт.

Двигатели серии АИ в отличие от АД серии 4А имеют: улучшенные энергетические показатели, улучшенные пусковые характеристики, соответствующие рекомендациям Публикации МЭК 34-12, повышенные показатели надежности, улучшенные виброакустические характеристики (уровень шума снижен по сравнению с серией 4А на 10—15 дБ), сниженный расход активных материалов (меди — на 2,5%, электротехнической стали — на 4%), сниженную массу АД и конструктивных материалов соответственно на 10—15 и 15—20%.

9.4.2. Двигатели серии АИ основного исполнения

Двигатели серии АИ основного исполнения предназначены для привода общепромышленных механизмов для работы от сети трехфазного переменного тока частотой 50 Гц.

Номинальные значения климатических факторов внешней среды регламентируются ГОСТ 15543-70 и ГОСТ 15150-69 при высоте над уровнем моря не более 1000 м, запыленности воздуха не более 10 мг/м³ для АД со степенью защиты IP44 и не более 2 мг/м³ для АД со степенью защиты IP23.

Электродвигатели сохраняют свои параметры в процессе эксплуатации при воздействии механических факторов внешней среды по группе М1 ГОСТ 17516-62.

Условия транспортирования АД в части воздействия механических факторов — Ж по ГОСТ 23216-78, в части воздействия климатических факторов — 8 (ОЖЗ) по ГОСТ 15150-69.

Условия хранения АД для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом — 2, для макроклиматических районов с тропическим климатом — 6 по ГОСТ 15150-69. Допустимый срок сохраняемости в упаковке и консервации предприятия-изготовителя — до 3 лет.

Двигатели выполняются на питающие напряжения:

220, 380 В при сопряжении фаз в треугольник или звезду с тремя выводными концами — мощностью от 0,025 до 0,37 кВт;

220, 380 и 660 В при сопряжении фаз в треугольник или звезду с тремя выводными концами — мощностью от 0,55 до 11 кВт;

220/380 и 380/660 В при сопряжении фаз в треугольник или звезду с шестью вы-

водными концами — мощностью от 15 до 110 кВт;

380/660 В при сопряжении фаз в треугольник или звезду с шестью выводными концами — мощностью от 132 до 400 кВт.

Исполнение АД по способу монтажа в зависимости от высоты оси вращения указано ниже:

Высота оси вращения h , мм	Исполнение АД по способу монтажа (ГОСТ 2479-79)
200—355	IM1001
45—250	IM1081, IM2081
280—355	IM1001, IM2001
45—112	IM2181
45—180	IM3001, IM3011, IM3031
200—280	IM3011, IM3031
45—112	IM3601, IM3611, IM3631
45—250	IM5010

Исполнение АД по степени защиты согласно ГОСТ 17494-72 — IP23, IP44 (IP54).

Способ охлаждения АД со степенью защиты IP44 с $h = 45$ мм — ICA0041 или ICA0141, АД с $h = 50 \div 250$ мм — ICA0141, АД с $h = 280 \div 355$ мм — ICA0151 или ICA0141 по ГОСТ 20459-75. Способ охлаждения АД со степенью защиты IP23 — ICA01 по ГОСТ 20459-75.

Наибольшее эффективное значение вибрационной скорости, измеренное по методике ГОСТ 12379-75 при упругой установке АД без дополнительной массы, не превышает следующих значений:

h , мм	45— 71	80— 112	160— 225	250— 355
Вибрационная скорость, мм/с	1,1	1,8	2,8	4,5

Средний уровень звука АД мощностью свыше 0,55 кВт с высотой оси вращения до 250 мм с привязкой мощности к установочным размерам по I варианту не превышает значений, указанных в ГОСТ 16372-84 для машин 3-го класса.

Средний уровень звука АД мощностью свыше 0,55 кВт с привязкой мощностей к установочным размерам по II варианту не превышает значений, указанных в ГОСТ 16372-84 для машин 4-го класса, за исключением двухполосных АД с высотами оси вращения 160—250 и 280—315 мм, средний уровень которых не превышает значений, установленных для машин 3-го класса.

Двигатели имеют следующие показатели надежности:

вероятность безотказной работы за

20000 ч наработки — не менее 0,9;

установленный ресурс между операциями восстановления (замена подшипников и обмотки) — не менее 20000 ч;

установленный срок службы до списания — не менее 15 лет, но не более 45000 ч;

средний срок службы до капитального ремонта — не менее 10 лет, но не более 20000 ч.

Структура обозначения типоразмеров АД серии АИ аналогична структуре обозначений АД серии 4А и отличаются первыми тремя буквами:

две первые буквы (АИ) обозначают вид двигателя (асинхронный) новой серии стран Интерэлектро;

третья буква обозначает вариант привязки мощностей и установочных размеров:

Р — привязка по I варианту;

С — привязка по II варианту.

В настоящее время освоен выпуск АД серии АИР основного исполнения с высотами оси вращения:

71, 80, 90, 100 мм (ТУ 16-525.564-84) — основное исполнение и модификации — тро-

пическое, химостойкое, для холодного климата, со встроенной температурной защитой, с повышенной точностью по установочным размерам и их сочетания; частота сети 50 и 60 Гц;

112, 132 мм (ТУ 16-525.571-84) — основное исполнение; частота сети 50 и 60 Гц;

160, 180 мм (ТУ 16-526.621-85) — основное исполнение и модификации — тропическое, химостойкое, пылезащищенное для холодного климата; частота сети 50, 60 Гц.

Двигатели иных габаритов и модификаций находятся в стадии разработки и освоения.

Технические данные АД серии АИР с высотами оси вращения 71—180 мм в продолжительном режиме работы S1 по ГОСТ 183—74 даны в табл. 9.35. Допустимые отклонения основных параметров от номинальных значений — по ГОСТ 183-74.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры и масса АД серии АИР в зависимости от конструктивного исполнения по способу монтажа приведены в табл. 9.36—9.40.

Таблица 9.35. Технические данные двигателей серии АИР

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{ном}}}$
		Скольжение, %	КПД, %	cos φ				

Синхронная частота вращения 3000 об/мин

АИР71А2	0,75	6	78,5	0,83	2,1	2,2	1,6	6
АИР71В2	1,1	6,5	79	0,83	2,1	2,2	1,6	6
АИР80А2	1,5	5	81	0,85	2,1	2,2	1,6	7
АИР80В2	2,2	5	83	0,87	2	2,2	1,6	7
АИР90Л2	3	5	84,5	0,88	2	2,2	1,6	7
АИР100С2	4	5	87	0,88	2	2,2	1,6	7,5
АИР100Л2	5,5	5	88	0,89	2	2,2	1,6	7,5
АИР112М2	7,5	3,5	87,5	0,88	2	2,2	1,6	7,5
АИРХ112М2								
АИР132М2	11	3	88	0,9	1,6	2,2	1,2	7,5
АИРХ132М2								
АИР160С2	15	3	89	0,89	1,8	2,7	1,7	7
АИРХ160С2								
АИР160М2	18,5	3	89,5	0,9	1,8	2,7	1,7	7
АИРХ160М2								
АИР180С2	22	2,7	89,5	0,88	1,7	2,7	1,6	7
АИР180М2	30	2,5	90,5	0,88	1,7	2,7	1,6	7,5

Синхронная частота вращения 1500 об/мин

АИР71А4	0,55	9,5	70,5	0,7	2,3	2,2	1,8	5
АИР71В4	0,75	10	73	0,73	2,2	2,2	1,6	5
АИР80А4	1,1	7	75	0,81	2,2	2,2	1,6	5,5

Продолжение табл. 9.35

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{НОМ}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{НОМ}}}$	$\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{НОМ}}}$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{НОМ}}}$
		Скольже- ние, %	КПД, %	cos φ				
АИР80В4	1,5	7	78	0,83	2,2	2,2	1,6	5,5
АИР90Л4	2,2	7	81	0,83	2,1	2,2	1,6	6,5
АИР100S4	3	6	82	0,83	2	2,2	1,6	7
АИР100Л4	4	6	85	0,84	2	2,2	1,6	7
АИР112М4	5,5	4,5	87,5	0,88	2	2,2	1,6	7
АИРХ112М4								
АИР132S4	7,5	4	87,5	0,86	2	2,2	1,6	7,5
АИРХ132S4								
АИР132М4	11	3,5	87,5	0,87	2	2,2	1,6	7,5
АИРХ132М4								
АИР160S4	15	3	89,5	0,89	1,9	2,9	1,8	7
АИРХ160S4								
АИР160М4	18,5	3	90	0,89	1,9	2,9	1,8	7
АИРХ160М4								
АИР180S4	22	2,5	90	0,87	1,5	2,4	1,3	6,5
АИР180М4								

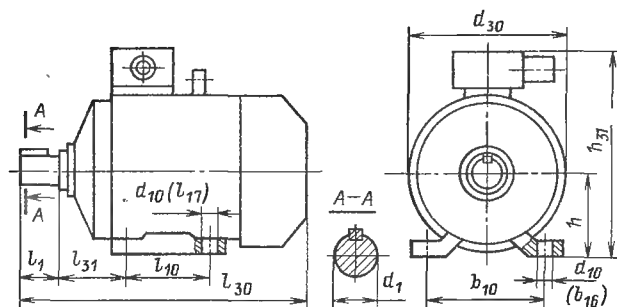
Синхронная частота вращения 1000 об/мин

АИР71А6	0,37	8,5	65	0,66	2	2,2	1,6	4,5
АИР71В6	0,55	8,5	68,5	0,7	2	2,2	1,6	4,5
АИР80А6	0,75	8	70	0,72	2	2,2	1,6	4,5
АИР80В6	1,1	8	74	0,74	2	2,2	1,6	4,5
АИР90Л6	1,5	7,5	76	0,72	2	2,2	1,6	6
АИР100Л6	2,2	5,5	81	0,74	2	2,2	1,6	6
АИР112МА6								
АИРХ112МА6	3	5	81	0,76	2	2,2	1,6	6
АИР112МВ6								
АИРХ112МВ6	4	5	82	0,81	2	2,2	1,6	6
АИР132S6	5,5	4	85	0,8	2	2,2	1,6	7
АИРХ132S6								
АИР132М6	7,5	4	85	0,81	2	2,2	1,6	7
АИРХ132М6								
АИР160S6	11	3	87	0,84	1,7	2,5	1,6	6,5
АИРХ160S6								
АИР160М6	15	3	88	0,85	1,7	2,6	1,6	6,5
АИРХ160М6								
АИР180М6	18,5	2	88	0,85	1,6	2,4	1,5	6,5

Синхронная частота вращения 750 об/мин

АИР132S8								
АИРХ132S8	4	4,5	83	0,7	1,8	2,2	1,4	6
АИР132М8								
АИРХ132М8	5,5	5	83	0,74	1,8	2,2	1,4	6
АИР160S8								
АИРХ160S8	7,5	3	87	0,75	1,6	2,4	1,4	5,5
АИР160М8								
АИРХ180М8	11	3	87,5	0,75	1,6	2,4	1,4	6
АИР180М8	15	2,5	89	0,82	1,6	2,2	1,5	5,5

Таблица 9.36. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии АИР исполнения IM1081 (IM1082)



Типоразмер двигателя	Число полосов	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм							Масса, кг
		l_{30}	h_{31}	d_{30}	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	d_{10} (l_{17}/b_{16})	b_{10}	h	
АИР71А АИР71В	2, 4, 6	272,5	188	170	40	90	46	19	(7/10)	112	71	8,6(10,5)* 9,4(10,8)*
АИР80А		296,5	204,5	190	50	100	50	22	(10/12)	125	80	11,9(13,8)*
АИР80В		320,5										13,8(15,7)*
АИР90L		337	224,5	210		125	56	24		140	90	18,6(20,2)*
АИР100S		360	246,5	240	60	112	63	28	(12/16)	160	100	23(27,9)*
АИР100L	391	140				29(33,4)*						

Типоразмер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм							Масса, кг					
		l_{30}	h_{31}	d_{30}	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	d_{10} (l_{17}/b_{16})	b_{10}	h						
АИР112М АИРХ112М	2, 4	435	285	246	80	140	70	32	12	190	112	49/41					
АИР112МА	6											43/35					
АИРХ112МА	8											43,5/36					
АИР112МВ	6											48/40,5					
АИРХ112МВ	8											48,5/41					
АИР132S АИРХ132S	4 6, 8	460	325	288	80	140	89	38	12	216	132	70/58					
						68,5/56,5											
АИР132М	2	498				178						89	38	12	216	132	77,5/64,5
АИРХ132М	4																83,5/70,5
	6																81,5/68,5
	8		82/70														
АИР160S АИРХ160S	2 4	630	385	334	110	178	108	42 48	15	254	160	125/100 130/100					

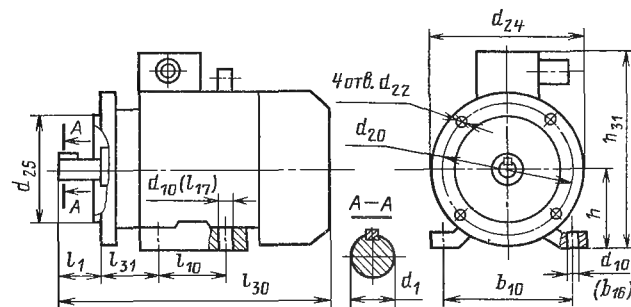
Типоразмер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм							Масса, кг				
		l_{30}	h_{31}	d_{30}	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	d_{10} (l_{17}/b_{16})	b_{10}	h					
АИР160S АИРХ160S	6, 8	630	385	334	110	178	108	48	15	254	160	125/100				
АИР160М АИРХ160М	2	660				210		42				140/110				
	4											145/110				
	6, 8							48				155/120				
АИР180S	2	630	448	375	110			48	15	279	180	160				
	4							203				55	170			
АИР180М	2	680				241	121	48				15	279	180	180	
	4															190
	6,8														55	180

* Для АД с $2p=4$.

Примечания: 1. В скобках указана масса АД со щитами из чугуна.

2. В числителе указана масса АД со станиной и щитами из чугуна, в знаменателе — с алюминиевой станиной и чугунными щитами.

Таблица 9.37. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии АИР исполнения IM2081 (IM2082)



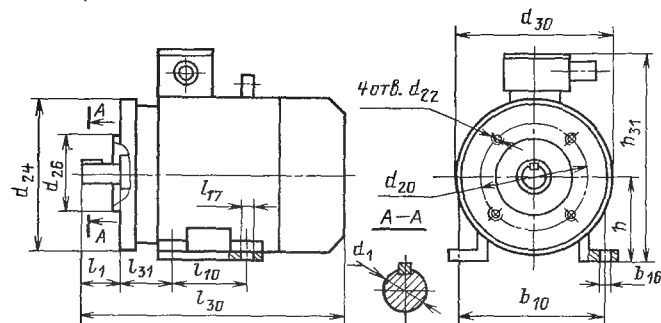
Типоразмер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм										Масса, кг		
		l_{30}	h_{31}	d_{24}	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	d_{10} (l_{17}/b_{16})	d_{20}	d_{22}	d_{25}	b_{10}	h			
АИР71А	2, 4, 6	272,5	188	200	40	90	45	19	(7/10)	165	12	130	112	71	9,1(12)*		
АИР71В															9,9(13,3)*		
АИР80А		296,5	204,5	200	50	100	50	22	(10/12)	165	12	130	125	80	12,5(14,4)*		
АИР80В		320,5													14,4(16,3)*		
АИР90		337	224,5	250		125	56	24		215	15	180	140	90	19,3(21,8)*		
АИР100S		360													23,8(24,4)*		
АИР100L		391	246,5	250	60	140			(12/14)	215	15	180	160	100	29,8(34,9)*		

Типоразмер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм										Масса, кг							
		l_{30}	h_{31}	d_{24}	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	d_{10} (l_{17}/b_{16})	d_{20}	d_{22}	d_{25}	b_{10}	h								
АИРХ132М	6														87/74							
	8														87,5/74,5							
АИР160S	2	630	385	350	110	178	108	42	15	300	19	250	254	160	130/105							
	4							48							135/105							
АИРХ160S	6, 8														130/105							
АИР160М	2	660						210							42	15	300	19	250	254	160	145/115
АИРХ160М	4																					150/115
	6, 8														48							160/125
АИР180S	2	630	440	400	110		203	121	48	15	350	19	300	279	180							170
	4								55													180
АИР180М	2	680							241													48
	4															200						
	6, 8															190						

* Для АД с $2p = 4$.

Примечание. См. примечание к табл. 9.36.

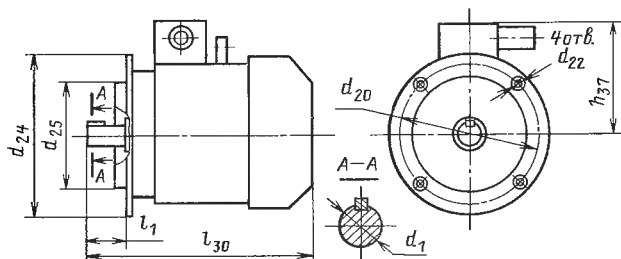
Таблица 9.38. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии АИР исполнения IM2181 (IM2182)



Типоразмер двигателя	Габаритные размеры, мм, не более			Установочные и присоединительные размеры, мм										Масса, кг
	l_{30}	d_{30}	h_{31}	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	$\frac{l_{17}}{b_{16}}$	d_{20}	d_{22}	d_{26}	b_{10}	h	
АИР71А	272,5	170	188	40	90	45	19	$\frac{7}{10}$	85	М6	70	112	71	10,4
АИР71В														10,7
АИР80А	296,5	190	204,5	50	100	50	22	$\frac{10}{12}$	100	М6	80	125	80	13,7
АИР80В	320,5													15,5
АИР90	337	210	224,5	60	125	50	24	$\frac{12}{14}$	115	М8	95	140	90	20,2
АИР100S	360	240	246,5		112	63	28		130	М8	110	160	100	27,4
АИР100L	391				140									33,9

Примечание. Масса указана для четырехполюсных АД.

Таблица 9.39. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии АИР исполнений IM3081 (IM3082), IM3041 (IM3042)



Типоразмер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм, не более			Установочные и присоединительные размеры, мм					Масса, кг
		l_{30}	d_{24}	h_{37}	l_1	d_1	d_{20}	d_{22}	d_{25}	
АИР71А	2, 4, 6	272,5	200	117	40	19	165	12	130	8,9(10,8)*
АИР71В										9,7(11,1)*
АИР80А		296,5	200	124,5	50	22	165	12	130	12,4(14,1)*
АИР80В		320,5								14,1(16)*
АИР90		337	250	134,5		24	215	15		18,9(21,4)*
АИР100S		360	250	146,5	60	28	215	15	180	23,3(28,9)*
АИР100L		391								29,3(34,4)*
АИР112М АИРХ112М	2, 4	435	300	173	80	32	265	15	230	50/42,5
АИР112МА	6									44/36,5
АИРХ112МА	8									44,5/37
АИР112МВ	6									49/41,5
АИРХ112МВ	8									49/42
АИР132S	4									74,5/63
АИРХ132S	6									73/61,5
	8	73/63,5								
АИР132М	2	498	350	193	80	38	300	19	250	82/69,5
	4									88/75,5
АИРХ132М	6									86/73,5
	8									86,5/74

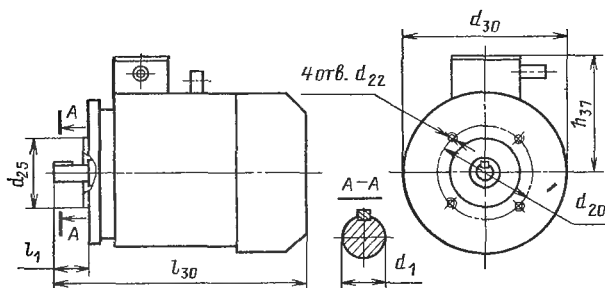
Продолжение табл. 9.39

Типоразмер двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм, не более			Установочные и присоединительные размеры, мм					Масса, кг		
		l_{30}	d_{24}	h_{37}	l_1	d_1	d_{20}	d_{22}	d_{25}			
АИР160	2	630	350	225	110	42	300	19	250	125/103		
	4					48				130/103		
АИРХ160	6, 8											125/103
АИР160М	2	660				42					140/113	
АИРХ160М	4					48					145/113	
	6, 8										155/123	
АИР180S	2	630	400	260	110	48	350	19	300	165		
	4					55				175		
АИР180М	2	680				48					185	
	4					55					195	
	6, 8										185	

* Для АД с $2p=4$.

Примечание. См. примечание к табл. 9.36.

**Таблица 9.40. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей
серии АИР исполнения IM3641 (IM3642)**

[illegible]

Продолжение табл. 9.40

Типоразмер двигателя	Габаритные размеры, мм		Установочные и присоединительные размеры, мм						Масса, кг
	l_{30}	d_{30}	l_1	d_1	d_{20}	d_{22}	d_{25}	h_{37}	
АИР80А	296,5	190	50	22	100	М6	80	124,5	13,7
АИР80В	320,5								15,5
АИР90	337	210		24	115	М8	95	134,5	20,2
АИР100S	360	240	60	28	130	М8	110	146,5	27,4
АИР100L	391								33,9

Примечание. Масса указана для четырехполюсных двигателей.

9.5. Асинхронные двигатели серии АОЗ с высотами оси вращения 315, 355, 400 мм

Двигатели предназначены для нужд народного хозяйства для привода различных общепромышленных механизмов во взрывоопасной окружающей среде с запыленностью воздуха не более 10 мг/м^3 , не содержащей агрессивных газов и паров, разрушающих изоляцию.

Двигатели выполняются климатического исполнения У категории размещения 3 по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70. Номинальные значения климатических факторов — по ГОСТ 15543-70 и ГОСТ 15150-69 при высоте над уровнем моря не более 1000 м. Двигатели соответствуют группе условий эксплуатации М1 по ГОСТ 17516-72. Условия транспортирования ГОСТ 23216-78 в части воздействия климатических факторов — по

ГОСТ 15150-69. Условия хранения — 2 по ГОСТ 15150-69.

Двигатели изготавливаются на номинальные напряжения 220/380 и 380/660 В с шестью выводными концами со степенью защиты IP44 ГОСТ 17494-72 и способом охлаждения ICA0141 по ГОСТ 20459-75. Номинальный режим работы АД — S1 по ГОСТ 183-74. Технические данные АД серии АОЗ приведены в табл. 9.41.

Для АД на частоту сети 60 Гц по сравнению с соответствующими АД на 50 Гц отношение начального пускового тока к номинальному отличается не более чем на 20% в сторону повышения; отношения номинальных значений начального пускового и минимального вращающего моментов отличаются не более чем на 10% в сторону понижения; значение КПД отличается не более чем на 0,5% (для АД с $2p = 2$ — на 1%), коэффициента мощности — на 0,02 (для АД с

Таблица 9.41. Технические данные двигателей серии АОЗ ($h = 315, 355$ и 400 мм)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Скольжение, %	Синхронная частота вращения, об/мин	КПД, %	$\cos \varphi$	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{ном}}}$
АОЗ-315S-2У3	160	380/660	1,2	3000	92	0,9	2	1	7
АОЗ-315М-2У3	200	380/660	1,2	3000	92,5	0,9	2	1	7
АОЗ-315S-4У3	160	380/660	1,4	1500	93,5	0,92	2,3	1,3	7
АОЗ-315М-4У3	200	380/660	1,4	1500	94	0,92	2,3	1,3	7
АОЗ-315S-6У3	110	220/380	1,7	1000	93	0,9	2,3	1,4	7
АОЗ-315М-6У3	132	380/660	1,7	1000	93,5	0,9	2,6	1,6	7
АОЗ-315S-8У3	90	220/380	1,7	750	92,5	0,85	2,6	1,6	6,3
АОЗ-315М-8У3	110	220/380	1,7	750	93	0,85	2,6	1,6	6,3
АОЗ-315S-10У3	55	220/380	1,9	600	92	0,79	2	1,3	6
АОЗ-315М-10У3	75	220/380	1,9	600	92	0,8	2	1,3	6

Продолжение табл. 9.41

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Скольжение, %	Синхронная частота вращения, об/мин	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{II}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{II}}{I_{ном}}$
АОЗ-315S-12УЗ	45	220/380	2,0	500	90,5	0,76	1,8	1	6
АОЗ-355S-4УЗ	250	380/660	1,3	1500	94,5	0,92	2	1	7
АОЗ-355М-4УЗ	315	380/660	1,3	1500	94,5	0,93	2	1	7
АОЗ-355S-6УЗ	160	380/660	1,5	1000	93,5	0,9	2,4	1,2	7
АОЗ-355М-6УЗ	200	380/660	1,5	1000	94	0,9	2,4	1,2	7
АОЗ-355S-8УЗ	132	380/660	1,5	750	93,5	0,85	2,2	1,2	6
АОЗ-355М-8УЗ	160	380/660	1,5	750	93,5	0,86	2,2	1,2	6
АОЗ-355S-10УЗ	90	220/380	1,8	600	92,5	0,83	1,8	1	6
АОЗ-355М-10УЗ	110	220/380	1,8	600	93	0,83	1,8	1	6
АОЗ-355S-12УЗ	75	220/380	2	500	91,5	0,77	1,8	1	6
АОЗ-355М-12УЗ	90	220/380	2	500	92	0,77	1,8	1	6
АОЗ-400М-4УЗ	400	380/660	1,2	1500	95	0,91	2	0,9	7
АОЗ-315S-2УЗэк.	160	380/660	1,2	3000	92	0,9	2	0,9	7
АОЗ-315М-2УЗэк.	200	380/660	1,2	3000	92,5	0,9	2	0,9	7
АОЗ-315S-4УЗэк.	160	380/660	1,4	1500	93,5	0,92	2,3	1,3	7
АОЗ-315М-4УЗэк.	200	380/660	1,4	1500	94	0,92	2,3	1,3	7
АОЗ-315S-6УЗэк.	110	220/380	1,7	1000	93	0,9	2,3	1,4	7
АОЗ-315М-6УЗэк.	132	380/660	1,7	1000	93,5	0,9	2,6	1,6	7
АОЗ-315S-8УЗэк.	90	220/380	1,7	750	92,5	0,85	2,6	1,6	6,3
АОЗ-315М-8УЗэк.	110	220/380	1,7	750	93	0,85	2,6	1,6	6,3
АОЗ-315S-10УЗэк.	55	220/380	1,9	600	92	0,79	2,0	1,3	6
АОЗ-315М-10УЗэк.	75	220/380	1,9	600	92	0,8	2,0	1,3	6
АОЗ-315S-12УЗэк.	45	220/380	2	500	90,5	0,76	1,8	0,9	6
АОЗ-315М-12УЗэк.	55	220/380	2	500	91	0,77	1,8	0,9	6
АОЗ-355S-4УЗэк.	250	380/660	1,3	1500	94,5	0,92	2	0,9	7
АОЗ-355М-4УЗэк.	315	380/660	1,3	1500	94,5	0,93	2	0,9	7
АОЗ-355S-8УЗэк.	132	380/660	1,5	750	93,5	0,85	2,2	1,2	6
АОЗ-355М-8УЗэк.	160	380/660	1,5	750	93,5	0,86	2,2	1,2	6
АОЗ-355S-10УЗэк.	90	220/380	1,8	600	92,5	0,83	1,8	1	6
АОЗ-355М-10УЗэк.	110	220/380	1,8	600	93	0,83	1,8	1	6
АОЗ-355S-12УЗэк.	75	220/380	2	500	91,5	0,77	1,8	0,9	6
АОЗ-355М-12УЗэк.	90	220/380	2	500	92	0,77	1,8	0,9	6
АОЗ-400М-4УЗэк.	400	380/660	1,2	1500	95	0,91	2	0,9	7

Примечания: 1. Обозначением «эк.» отмечены двигатели экспортного исполнения.

2. $M_{min}/M_{ном} = 0,8$.

2р = 2 на 0,03) при номинальной нагрузке в сторону понижения; синхронная частота вращения равна 120% синхронной частоты вращения АД соответствующей полности частоты 50 Гц. Допуск по массе + 5%. Двигатели выпускаются в соответствии с требованиями ТУ 16-510.465-80.

Допустимый уровень шума соответствует 1-му классу по ГОСТ 16372-84. Допустимый уровень вибрации двигателей соответствует: для АД типа АОЗ-315 с 2р = 8, 10 — классу 2, 8 по ГОСТ 16921-83, типа АОЗ-400М-4УЗ по ГОСТ 20815-75; для остальных типов АД — классу 4, 5 по ГОСТ 16921-83.

Срок службы до списания:

АД типа АОЗ-315 с 2р = 4, 6, 8, 10 — не менее 18 лет при общей наработке 50 000 ч;

АД типа АОЗ-355 с 2р = 6, 8 — не менее 20 лет при общей наработке 55 000 ч;

АД остальных типов — не менее 15 лет при общей наработке 40 000 ч. Средний срок службы обмотки — 20 000 ч, подшипников — 10 000 ч.

Вероятность безотказной работы при доверительной вероятности 0,8 составляет:

для АД типов АОЗ-315 с 2р = 4, 6, 8, 10 и АОЗ-355 с 2р = 6, 8 — 0,99; для АД типа АОЗ-400М-4УЗ — 0,97;

за 20 000 ч:

для АД типов АОЗ-315 с 2р = 4, 6, 8 и АОЗ-355 с 2р = 4, 6, 8 $P = 0,97$;

для АД типа АОЗ-315 с 2р = 10 $P = 0,95$.

Вероятность безотказной работы остальных

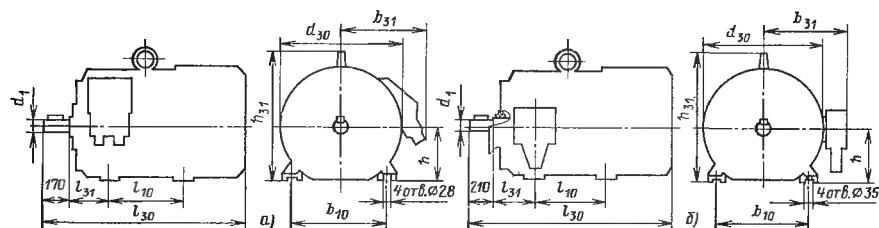
ных АД — 0,9 за 10 000 ч при доверительной вероятности 0,8.

По способу монтажа АД изготавливаются следующих форм исполнений (по ГОСТ 2479-79): АД типов АОЗ-315, АОЗ-355 — IM1001, IM2001, IM3011; АД типов АОЗ-400М-4УЗ — IM1001.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры и масса двигателей в зависимости от монтажного исполнения указаны в табл. 9.42—9.44.

Предельные отклонения установочных и присоединительных размеров — по ГОСТ 8592-79 для нормальной точности.

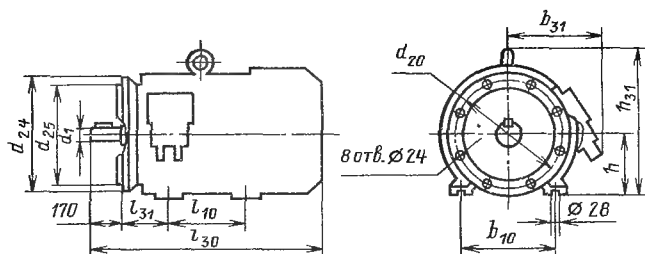
Таблица 9.42. Двигатели АОЗ исполнения IM1001



Типоразмер двигателя	l_{10}	l_{30}	l_{31}	d_1	d_{30}	b_{10}	b_{31}	h	h_{31}	Масса, кг
АОЗ-315S-2УЗ	406	1243								1054
АОЗ-315М-2УЗ	457	1294								1178
АОЗ-315S-4УЗ	406	1243								1065
АОЗ-315М-4УЗ	457	1294								1195
АОЗ-315S-6УЗ	406	1243	216	80	690	508	544	315	765	1020
АОЗ-315М-6УЗ	457	1294								1120
АОЗ-315S-8УЗ	406	1243								1050
АОЗ-315М-8УЗ	457	1294								1110
АОЗ-315S-10УЗ	406	1243								988
АОЗ-315М-10УЗ	457	1268,5								1125
АОЗ-315S-12УЗ	406	1243								988
АОЗ-315М-12УЗ	457	1268,5								1125
АОЗ-355S-4УЗ	500	1350								1455
АОЗ-355М-4УЗ	560	1410								1675
АОЗ-355S-6УЗ	500	1350	254	90	780	610	570	355	852	1345
АОЗ-355М-6УЗ	560	1410								1515
АОЗ-355S-8УЗ	500	1350								1380
АОЗ-355М-8УЗ	560	1410	254	90	780	610	570	355	852	1515
АОЗ-355S-10УЗ	500	1350								1415
АОЗ-355М-10УЗ	560	1410								1500
АОЗ-355S-12УЗ	500	1350								1415
АОЗ-355М-12УЗ	560	1410								1500
АОЗ-400М-4УЗ	630	1545	280	100	880	686	645	400	955	2220

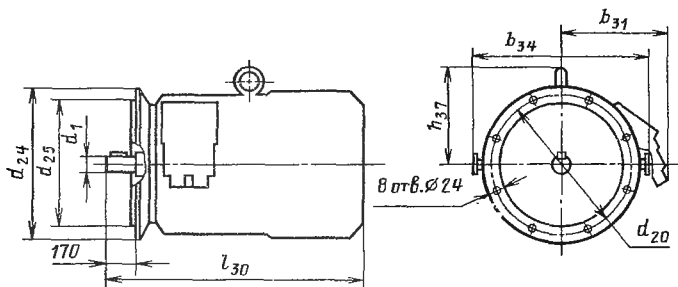
Примечание. Двигатели АОЗ-315, АОЗ-355 — рис. а; АОЗ-400 — рис. б.

Таблица 9.43. Двигатели АОЗ исполнения IM2001



Типоразмер двигателя	l_{10}	l_{30}	l_{31}	d_1	d_{20}	d_{24}	d_{25}	b_{10}	b_{31}	h	h_{31}	Масса, кг
АОЗ-315S-2У3	406	1243										1080
АОЗ-315М-2У3	457	1294										1205
АОЗ-315S-4У3	406	1243										1090
АОЗ-315М-4У3	457	1294										1220
АОЗ-315S-6У3	406	1243										1045
АОЗ-315М-6У3	457	1294										1145
АОЗ-315S-8У3	406	1243										1075
АОЗ-315М-8У3	457	1294										1135
АОЗ-315S-10У3	406	1243										1013
АОЗ-315М-10У3	457	1268,5										1150
АОЗ-315S-12У3	406	1243										1013
АОЗ-315М-12У3	457	1268,5										1150
АОЗ-355S-4У3	500	1350										1486
АОЗ-355М-4У3	560	1410										1706
АОЗ-355S-6У3	500	1350										1376
АОЗ-355М-6У3	560	1410										1546
АОЗ-355S-8У3	500	1350										1411
АОЗ-355М-8У3	560	1410										1546
АОЗ-355S-10У3	500	1350										1446
АОЗ-355М-10У3	560	1410										1531
АОЗ-355S-12У3	500	1350										1446
АОЗ-355М-12У3	560	1410										1531

Таблица 9.44. Двигатели АОЗ исполнения IM3011



Типоразмер двигателя	l_{30}	d_1	d_{20}	d_{24}	d_{25}	b_{31}	b_{34}	h_{37}	Масса, кг
АОЗ-315S-2У3	1243								800
АОЗ-315М-2У3	1294								1020

Продолжение табл. 9.44

Типоразмер двигателя	l_{30}	d_1	d_{20}	d_{24}	d_{25}	b_{31}	b_{34}	h_{37}	Масса, кг
АО3-315S-4У3	1243	80	600	660	550	544	816	452	950
АО3-315М-4У3	1294								1100
АО3-315S-6У3	1243								940
АО3-315М-6У3	1294								1040
АО3-315S-8У3	1243								960
АО3-315М-8У3	1294								1030
АО3-315S-10У3	1243								850
АО3-315М-10У3	1243								930
АО3-315S-12У3	1243	90	740	800	680	570	885	487	850
АО3-315М-12У3	1243								930
АО3-355S-4У3	1370								1275
АО3-355М-4У3	1430								1475
АО3-355S-6У3	1370								1140
АО3-355М-6У3	1430								1320
АО3-355S-8У3	1370								1190
АО3-355М-8У3	1430								1300
АО3-355S-10У3	1370	90	740	800	680	570	885	487	1230
АО3-355М-10У3	1430								1315
АО3-355S-12У3	1370								1230
АО3-355М-12У3	1430								1315

9.6. Асинхронные двигатели серии АЗ с высотой оси вращения 315 мм

Двигатели серии АЗ предназначены для внутрисоюзных поставок, а также для поставок на экспорт в страны с умеренным и тропическим климатом для привода общепромышленных механизмов.

Двигатели выпускаются климатического исполнения У и Т категории 3 по ГОСТ 15150-69. Номинальные значения климатических факторов — по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70. Двигатели соответствуют группе условий эксплуатации М1 по ГОСТ 17516-72. Условия транспортирования — по ГОСТ 23216-78, в части воздействия климатических

факторов — 8 (ОЖЗ) по ГОСТ 15150-69. Условия хранения двигателей — 2 (С) по ГОСТ 15150-69.

Двигатели изготавливаются на номинальные напряжения 220/380, 380/660 В со степенью защиты IP22.

Номинальный режим работы двигателей — продолжительный S1 по ГОСТ 183-74. Технические данные АД серии АЗ приведены в табл. 9.45.

Предельные отклонения от номинальных значений — в соответствии с ГОСТ 183-74.

Допустимые значения средних уровней шума АД соответствуют классу I ГОСТ 16372-84. Допустимые значения вибраций — 4,5 мм/с по ГОСТ 16921-83.

Таблица 9.45. Технические данные двигателей типа АЗ-315

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Скольжение, %	Синхронная частота вращения, об/мин	КПД, %	$\cos \varphi$	$\frac{I_p}{I_{ном}}$	$\frac{M_p}{M_{ном}}$	$\frac{M'_{max}}{M_{ном}}$	Масса, кг
АЗ-315М-2У3	200	380/660	2	3000	94	0,9	6,5	0,9	2	980
АЗ-315М-4У3	200	380/660	2,5	1500	93,5	0,91	6	1	2	950
АЗ-315S-2У3	160	380/660	2	3000	93,5	0,9	6,5	0,9	2	850
АЗ-315S2-4У3	160	380/660	2,5	1500	93	0,9	6	0,9	2	850
АЗ-315S1-4У3	132	380/660	2,5	1500	92,5	0,89	6	0,9	2	770
АЗ-315М-6У3	132	380/660	2,5	1000	92,5	0,9	6	1	2	890
АЗ-315S-6У3	110	220/380	2,5	1000	92	0,9	6	1	2	770

Продолжение табл. 9.45

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Скольжение, %	Синхронная частота вращения, об/мин	КПД, %	cos φ	$\frac{I_n}{I_{ном}}$	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Масса, кг
A3-315M-8Y3	110	220/380	2,5	750	92	0,86	5	1	2	915
A3-315S-8Y3	90	220/380	2,5	750	91,5	0,85	5	1	2	790
A3-315M-10Y3	75	220/380	3	600	91	0,82	5,5	1	2	965
A3-315S-10Y3	55	220/380	3	600	90,5	0,81	5,5	1	1,8	760
A3-315M-2T3	200	380/660	2	3000	93	0,88	6,5	0,9	2	935
A3-315M-4T3	200	380/660	2,5	1500	93	0,9	6,5	0,9	1,9	865
A3-315S-2T3	160	380/660	2	3000	92,5	0,87	6,5	0,9	2	805
A3-315S2-4T3	160	380/660	2,5	1500	92,3	0,89	6,5	0,9	1,9	765
A3-315S1-4T3	132	380/660	2,5	1500	91,8	0,88	6,5	0,9	1,9	710
A3-315M-6T3	132	380/660	2,5	1000	92	0,87	6	1	1,9	825
A3-315S-6T3	110	220/380	2,5	1000	91,4	0,88	6	1	1,9	740
A3-315M-8T3	110	220/380	2,5	750	91,3	0,85	5,5	1	1,9	865
A3-315S-8T3	90	220/380	2,5	750	91,1	0,84	5,5	1	1,9	750
A3-315M-10T3	75	220/380	3	600	90	0,81	5,5	1	1,8	805
A3-315S-10T3	55	220/380	3	600	91	0,8	5,5	1	1,8	700

Примечание. $M_{min}/M_{ном} = 0,8$.

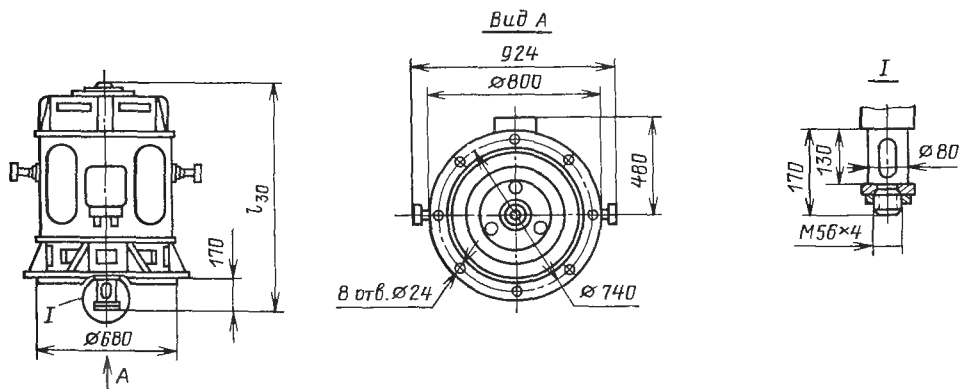
Расчетный срок службы АД 18 лет. Вероятность безотказной работы: 0,99 при 2 годах эксплуатации; 0,95 при 10 годах эксплуатации; 0,90 при 18 годах эксплуатации.

По способу монтажа АД изготавливаются

в исполнении IM3011 (ГОСТ 2479-79). Допуск по массе + 5%.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры указаны в табл. 9.46. Предельные отклонения установочных и

Таблица 9.46. Габаритные установочные и присоединительные размеры двигателей серии А3



Типоразмер двигателя	l_{30} , мм, при числе полюсов				
	2	4	6	8	10
A3-315	1050	—	1050	1050	1050
A3-315S1	—	1050	—	—	—
A3-315S2	—	1050	—	—	—
A3-315M	1100	1100	1100	1100	1100

присоединительных размеров — по ГОСТ 8592-79 для нормальной точности.

Двигатели выпускаются в соответствии с требованиями ТУ 16-510.489-76.

9.7. Асинхронные двигатели серии АВШ

Вертикальные АД серии АВШ предназначены для привода шахтных, подвесных, проходческих насосов. Двигатели четырехполюсные имеют климатические исполнения У и Т категории 3 (ГОСТ 15150-69) и степень защиты от воздействия окружающей среды IP12 (ГОСТ 17494-72).

Номинальные значения климатических факторов внешней среды — по ГОСТ 15543-70 и ГОСТ 15150-69 для исполнений У и Т. Условия транспортирования в части воздействия климатических факторов для исполнения У — по группе условия хранения 8 (ОЖЗ), исполнения Т — по группе 6 (ОЖ) ГОСТ 15150-69. Условия хранения АД исполнения У — по группе 2 (С), исполнения Т — по группе 3 (ЖЗ) (ГОСТ 15150-69).

Таблица 9.47. Технические данные двигателей АВШ, $f = 50$ Гц

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	$\cos \varphi$	$\frac{M_{II}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{max}}{M_{НОМ}}$
АВШ-55УЗ	55	89,5	0,87	1,3	2,3
АВШ-75УЗ	75	90	0,87	1,3	2,3
АВШ-110МУЗ	110	91	0,88	1,2	2
АВШ-55МТЗ	55	88,5	0,86	1,3	2,3
АВШ-75МТЗ	75	89	0,86	1,3	2,3
АВШ-110МТЗ	110	90	0,87	1,2	2

Примечание. $I_{II}/I_{НОМ} = 6,5$; $M_{min}/M_{НОМ} = 0,8$.

Таблица 9.48. Технические данные двигателей АВШ, $f = 60$ Гц

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	$\cos \varphi$	$\frac{M_{II}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{max}}{M_{НОМ}}$
АВШ-55МУЗ	55	89,5	0,85	1,3	2,3
АВШ-75МУЗ	75	90	0,85	1,3	2,3
АВШ-110МУЗ	110	91	0,88	1,2	2
АВШ-55МТЗ	55	88,5	0,86	1,3	2,3
АВШ-75МТЗ	75	89	0,86	1,3	2,3
АВШ-110МТЗ	110	90	0,87	1,2	2

Примечание. $I_{II}/I_{НОМ} = 6,5$; $M_{min}/M_{НОМ} = 0,8$.

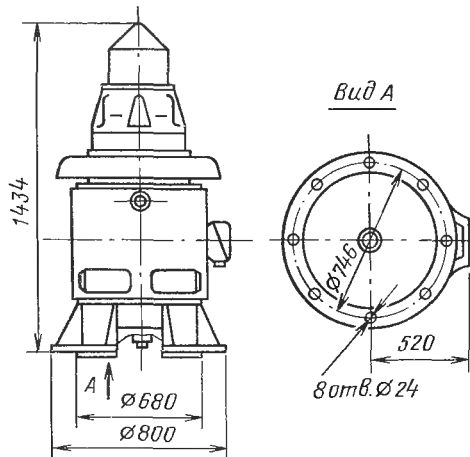


Рис. 9.14. Общий вид и основные размеры двигателя серии АВШ, исполнение IM3010 с полым валом

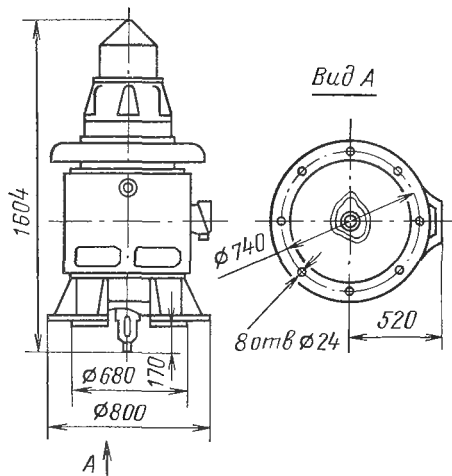


Рис. 9.15. Общий вид и основные размеры двигателя серии АВШ, исполнение IM33011 с монолитным валом

Двигатели климатического исполнения У изготавливаются на номинальные напряжения 220/380, 500, 380/660 В. Двигатели климатического исполнения Т с питанием от сети переменного тока частотой 50 Гц изготавливаются на напряжения 220/380, 380/660, 230/400, 415 В (табл. 9.47), с питанием от сети переменного тока частотой 60 Гц — 440 В (табл. 9.48).

Номинальный режим работы — продолжительный S1 по ГОСТ 183-74.

Предельные отклонения от номинальных значений — по ГОСТ 183-74.

Допустимые значения вибраций АД соответствуют классу 4,5 по ГОСТ 16921-83, средний уровень шума соответствует классу 1 по ГОСТ 16372-84.

Срок службы до первого капитального ремонта — не менее 40 000 ч для обмотки и не менее 5000 ч для подшипников. Вероятность безотказной работы на гарантийный срок службы составляет не менее 0,95.

По способу монтажа АД с полым или монолитным валом ротора имеют исполнение IM3010 и IM3011.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры указаны на рис. 9.14 и 9.15. Предельные отклонения установочных и присоединительных размеров — по ГОСТ 8592-79 для нормальной точности. Двигатели выпускаются в соответствии с требованиями ТУ 16-510.480-73. Двигатели серии АВШ имеют следующие значения массы:

Типоразмер двигателя	Масса, кг, при исполнении	
	IM3010	IM3011
АВШ-55М	815	830
АВШ-75М	865	875
АВШ-110М	910	925

9.8. Асинхронные встраиваемые двигатели типов СВМ-6М, ЭД-1К, ЭД-3К

Двигатели типов СВМ-6М, ЭД-1К, ЭД-3К предназначены для встраивания в механизмы горно-шахтного оборудования: двигатели типа СВМ-6М для привода секционных вентиляторов, двигатели типа ЭД для привода ручных сверл.

Двигатели имеют климатические исполнения У и Т категории 5 по ГОСТ 15150-69. Номинальные значения климатических факторов — по ГОСТ 15543-70 и ГОСТ 15150-69. Условия транспортирования АД в части воздействия климатических факторов 4 (Ж2) — по ГОСТ 15150-69, условия хранения — по группе условий хранения 2 (С) ГОСТ 15150-69.

Двигатели типа СВМ-6М изготавливаются на номинальное напряжение 380/660 В частотой 50 Гц с шестью выводными концами. Схема соединения обмотки статора — Д/У. Ротор — короткозамкнутый номинальный, режим работы — продолжительный S1 по ГОСТ 183-74.

Двигатели типа ЭД изготавливаются на номинальное напряжение 127 В частотой

Таблица 9.49. Технические данные двигателей типов СВМ-6М, ЭД-1К, ЭД-3К, $n_c = 3000$ об/мин

Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт	КПД, %	$\cos \varphi$	Скольжение, %
СВМ-6М	14	88,5	0,88	1,7
ЭД-1К	1,1	71	0,74	8
ЭД-3К	1,5	74	0,80	8

50 Гц с тремя выводными концами. Номинальный режим работ — кратковременный S2 с длительностью периода неизменной нагрузки 30 мин.

Технические данные АД типов СВМ и ЭД приведены в табл. 9.49. Предельные отклонения основных параметров — по ГОСТ 183-74.

Вероятность безотказной работы АД за расчетный срок службы 20 000 ч — не менее 0,8.

Исполнение АД по способу монтажа — IM5010 (ГОСТ 2479-79). Габаритные, установочные размеры и масса АД указаны в табл. 9.50. Допустимое отклонение по массе + 5%.

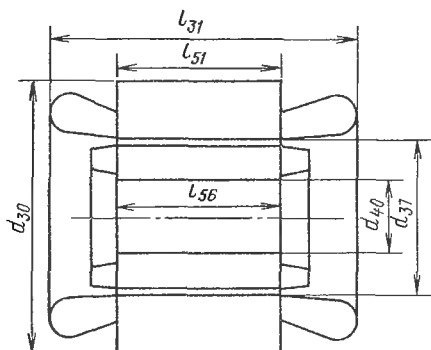
Двигатели выпускаются в соответствии с требованиями ТУ 16-513.337-78.

9.9. Асинхронные двигатели серии А2, АО2

Серия АД общего назначения А2 и АО2 была разработана в 1957–1959 гг. и имела девять габаритов (внешних диаметров сердечников статора) с высотами оси вращения от 90 до 280 мм, соответствующими рекомендациям МЭК. В АД серии впервые были применены обмоточные провода с тонкослойной эмалевой изоляцией и новые для того времени виды электроизоляционных материалов. Шкала мощностей АД соответствовала дополнительно ряду рекомендаций МЭК и состояла из 19 ступеней в диапазоне от 0,6 до 100 кВт. Помимо основного исполнения в серии был предусмотрен ряд модификаций и специализированных исполнений.

В настоящее время АД этой серии сняты с производства и заменены более совершенными двигателями серий 4А, 4АМ и АИ. Однако в эксплуатации находится несколько миллионов АД серии А2 и АО2, поэтому в Справочнике приводятся краткое описание и технические данные этих машин.

Таблица 9.50. Габаритные, установочные, присоединительные размеры и масса двигателей типов СВМ-6М, ЭД-1К, ЭД-3К



Типоразмер двигателя	l_{31}	d_{30}	l_{51}	d_{37}	l_{56}	d_{40}	Масса, кг
ЭД-1К	145	120	72	55,8	74	17	6,2
ЭД-3К	165		92		92		7,2
СВМ-6М	292	327	102	180	104	60	66

9.9.1. Двигатели серии А2, АО2 основного исполнения

Асинхронные двигатели общего назначения серии А2 и АО2 основного исполнения предназначались для продолжительного номинального режима работы S1 по ГОСТ 183-74 от сети трехфазного переменного тока частотой 50 Гц.

Номинальные данные (мощность, напряжение, частота вращения, коэффициент мощности, КПД) относятся к номинальным значениям климатических факторов внешней среды по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70 и нижним значениям температуры окружающего воздуха: -20°C при эксплуатации в рабочем состоянии и -45°C при эксплуатации в нерабочем состоянии (эксплуатационное хранение).

Условия эксплуатации АД в части воздействия механических факторов внешней среды — по группе М1 (ГОСТ 17516-72). Транспортирование АД — по группе условий хранения Ж1 (ГОСТ 15150-69) любым видом транспорта. Хранение АД — по группе условий хранения С (ГОСТ 15150-69).

Двигатели изготавливались на следующие номинальные напряжения, В:

220, 380, 660 1-5-й габариты
220/380 и 380/660 6-9-й габариты

Двигатели до 5-го габарита включительно изготавливались с тремя выводными концами. Схема соединения обмотки — Д или У. Двигатели 6-9-го габаритов изготавливались с шестью выводными концами. Схема соединения обмотки — Д/У.

Двигатели имели следующие исполнения по степени защиты от воздействия окружающей среды:

защищенное исполнение со станиной и щитами из чугуна (А2) — 6-9-го габаритов;

закрытое обдуваемое исполнение со станиной и щитами из чугуна (АО2) — 3-9-го габаритов;

закрытое обдуваемое исполнение со станиной и щитами из алюминиевого сплава (АОЛ2) — 1-3-го габаритов.

Допустимые вибрации двигателей 1-5-го габаритов (кроме двухполусных 4-го и 5-го габаритов) соответствовали классу 2,8, двигателей 6-9-го габаритов и двухполусных 4-го и 5-го габаритов — классу 4,5 по ГОСТ 16921-83.

Среднее значение уровня звука АД соответствовало классу 1 по ГОСТ 16372-84.

Обозначение типоразмера АД состоит из обозначения исполнения по степени защиты от воздействия окружающей среды, обозначения типа АД (первая цифра указывает порядковый номер габарита, вторая — порядковый номер длины сердечника статорной обмотки).

ра), числа полюсов, климатического исполнения и категории размещения.

Двигатель типа АО2-31-6У3 — двигатель закрытого обдуваемого исполнения со станиной и щитами из чугуна, 3-го габарита, 1-й длины сердечника статора, шестиполюсный,

климатического исполнения У, категории размещения 3.

Технические данные АД серии АО2 и А2 1—9-го габаритов основного исполнения в продолжительном режиме работы S1 по ГОСТ 183-74 указаны в табл. 9.51.

Таблица 9.51. Технические данные двигателей серий АО2 и А2 1-9-го габаритов

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	cosφ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
Закрытое обдуваемое исполнение								
АОЛ2-11-2У3	0,8	5,7	78	0,86	2,2	1	1,9	7
АОЛ2-12-2У3	1,1	5,7	79,5	0,87	2,2	1	1,9	7
АОЛ2-21-2У3	1,5	5	80,5	0,88	2,2	1	1,8	7
АОЛ2-22-2У3	2,2	5	83	0,89	2,2	1	1,8	7
АО2-31-2У3	3	4	84,5	0,89	2,2	1	1,7	7
АОЛ2-31-2У3	3	4	84,5	0,89	2,2	1	1,7	7
АО2-32-2У3	4	4	85,5	0,89	2,2	1	1,7	7
АОЛ2-32-2У3	4	4	85,5	0,89	2,2	1	1,7	7
АО2-41-2У3	5,5	3,5	86	0,89	2,2	1	1,6	7
АО2-42-2У3	7,5	3,5	87	0,89	2,2	1	1,6	7
АО2-51-2У3	10	3	88	0,89	2,2	1	1,5	7
АО2-52-2У3	13	3	88	0,89	2,2	1	1,5	7
АО2-62-2У3	17	3	88	0,9	2,2	1	1,2	7
АО2-71-2У3	22	3	88	0,9	2,2	1	1,1	7
АО2-72-2У3	30	3	89	0,9	2,2	1	1,1	7
АО2-81-2У3	40	2,7	89	0,91	2,2	1	1	7
АО2-82-2У3	55	2,7	90	0,92	2,2	1	1	7
АО2-91-2У3	75	1,8	90	0,92	2,2	1	1	7
АО2-92-2У3	100	1,8	91,5	0,92	2,2	1	1	7
АОЛ2-11-4У3	0,6	10	72	0,76	2,2	1,5	1,8	7
АОЛ2-12-4У3	0,8	10	74,5	0,78	2,2	1,5	1,8	7
АОЛ2-21-4У3	1,1	7	78	0,8	2,2	1,5	1,8	7
АОЛ2-22-4У3	1,5	7	80	0,81	2,2	1,5	1,8	7
АОЛ2-31-4У3	2,2	4,7	82,5	0,83	2,2	1,5	1,8	7
АО2-32-4У3	3	4,7	83,5	0,84	2,2	1,5	1,8	7
АОЛ2-32-4У3	3	4,7	83,5	0,84	2,2	1,5	1,8	7
АО2-41-4У3	4	4	86	0,85	2	1	1,5	7
АО2-42-4У3	5	3,5	87	0,86	2	1	1,5	7
АО2-51-4У3	7,5	3,3	88,5	0,87	2	1	1,4	7
АО2-52-4У3	10	3,3	88,5	0,87	2	1	1,4	7
АО2-61-4У3	13	3,3	88,5	0,89	2	1	1,3	7
АО2-62-4У3	17	3,3	89	0,89	2	1	1,3	7
АО2-71-4У3	22	3,3	90	0,9	2	1	1,2	7
АО2-72-4У3	30	3,3	91	0,91	2	1	1,2	7
АО2-81-4У3	40	3	91,5	0,91	2	1	1,1	7
АО2-82-4У3	55	2,7	92,5	0,92	2	1	1,1	7
АО2-91-4У3	75	2	92,5	0,92	2	1	1,1	7
АО2-92-4У3	100	2	93	0,92	2	1	1,1	7
АОЛ2-11-6У3	0,4	9	68	0,65	2,2	1,5	1,8	6,5
АОЛ2-12-6У3	0,6	9	70	0,68	2,2	1,5	1,8	6,5
АО2-21-6У3	0,8	7	73	0,71	2,2	1,5	1,8	6,5
АОЛ2-21-6У3	0,8	7	73	0,71	2,2	1,5	1,8	6,5
АОЛ2-22-6У3	1,1	7	76	0,73	2,2	1,5	1,8	6,5
АО2-31-6У3	1,5	7	79	0,75	2,2	1,5	1,8	6,5
АОЛ2-31-6У3	1,5	7	79	0,75	2,2	1,5	1,8	6,5
АО2-32-6У3	2,2	7	81	0,77	2,2	1,5	1,8	6,5

Продолжение табл. 9.51

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	$\cos \varphi$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{II}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{II}}{I_{ном}}$
АОЛ2-32-6У3	2,2	7	81	0,77	2,2	1,5	1,8	6,5
АО2-41-6У3	3	5	81,5	0,78	1,8	1	1,3	6,5
АО2-42-6У3	4	5	83	0,79	1,8	1	1,3	6,5
АО2-51-6У3	5,5	3,5	85,5	0,81	1,8	1	1,3	6,5
АО2-52-6У3	7,5	3,5	87	0,82	1,8	1	1,3	6,5
АО2-61-6У3	10	3,5	88	0,89	1,8	1	1,2	7
АО2-62-6У3	13	3,5	88	0,89	1,8	1	1,2	7
АО2-71-6У3	17	3,5	90	0,9	1,8	1	1,2	7
АО2-72-6У3	22	3,5	90,5	0,9	1,8	1	1,2	7
АО2-81-6У3	30	3	91	0,91	1,8	1	1,1	7
АО2-82-6У3	40	2,5	91,5	0,91	1,8	1	1,1	7
АО2-91-6У3	55	2	92,5	0,92	1,8	1	1,1	7
АО2-92-6У3	75	2	92,5	0,92	1,8	1	1,1	7
АО2-41-8У3	2,2	6	79,5	0,69	1,7	1	1,2	7
АО2-42-8У3	3	6	80	0,7	1,7	1	1,2	7
АО2-51-8У3	4	3,5	84	0,71	1,7	1	1,2	7
АО2-52-8У3	5,5	3,5	85	0,72	1,7	1	1,2	7
АО2-61-8У3	7,5	3,3	86,5	0,81	1,7	1	1,2	7
АО2-62-8У3	10	3,3	87,5	0,81	1,7	1	1,2	7
АО2-71-8У3	13	3,3	89	0,83	1,7	1	1,1	7
АО2-72-8У3	17	3,3	89,5	0,83	1,7	1	1,1	7
АО2-81-8У3	22	3	90,5	0,84	1,7	1	1,1	7
АО2-82-8У3	30	3	91	0,88	1,7	1	1,1	7
АО2-91-8У3	40	2	91,5	0,88	1,7	1	1,1	7
АО2-92-8У3	55	2	92,5	0,9	1,7	1	1,1	7
АО2-81-10У3	17	3,3	88	0,77	1,7	1	1,1	6,5
АО2-82-10У3	22	3,3	89,5	0,78	1,7	1	1,1	6,5
АО2-91-10У3	30	2,5	90	0,82	1,7	1	1,1	6,5
АО2-92-10У3	40	2,5	90,5	0,82	1,7	1	1,1	6,5

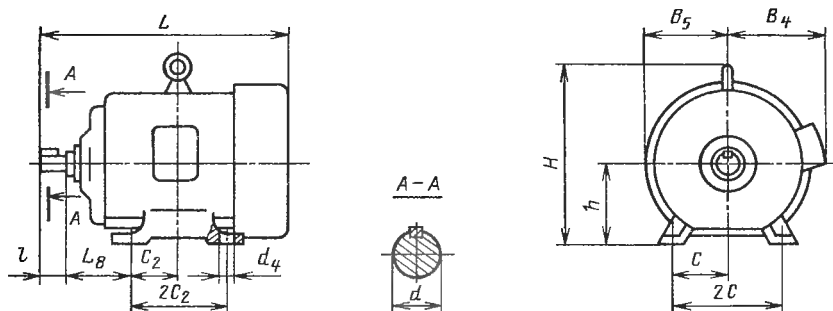
Защищенное исполнение

А2-61-2У3	17	3,5	88	0,88	2,2	1	1,2	7
А2-62-2У3	22	3,5	89	0,88	2,2	1	1,1	7
А2-71-2У3	30	3,3	90	0,9	2,2	1	1,1	7
А2-72-2У3	40	3,3	90,5	0,9	2,2	1	1	7
А2-81-2У3	55	3,3	91	0,9	2,2	1	1	7
А2-82-2У3	75	3,3	92	0,9	2,2	1	1	7
А2-91-2У3	100	1,8	93	0,9	2,2	1	1	7
А2-92-2У3	125	1,4	94	0,9	2,2	1	1	7
А2-61-4У3	13	3,3	88,5	0,88	2	1	1,3	7
А2-62-4У3	17	3,3	89,5	0,88	2	1	1,3	7
А2-71-4У3	22	3,3	90	0,88	2	1	1,2	7
А2-72-4У3	30	3,3	90,5	0,88	2	1	1,2	7
А2-81-4У3	40	3	91	0,89	2	1	1,1	7
А2-82-4У3	55	2,7	92	0,89	2	1	1,1	7
А2-91-4У3	75	1,4	93	0,89	2	1	1,1	7
А2-92-4У3	100	1,4	93,5	0,9	2	1	1,1	7
А2-61-6У3	10	3,5	87	0,86	1,8	1	1,2	7
А2-62-6У3	13	3,5	88	0,86	1,8	1	1,2	7
А2-71-6У3	17	3,5	89	0,87	1,8	1	1,2	7
А2-72-6У3	22	3,5	89,5	0,87	1,8	1	1,2	7
А2-81-6У3	30	3	90	0,88	1,8	1	1,1	7
А2-82-6У3	40	3	91	0,89	1,8	1	1,1	7
А2-91-6У3	55	2	92	0,89	1,8	1	1,1	7

Продолжение табл. 9.51

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	cosφ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
A2-92-6У3	75	2	92,5	0,89	1,8	1	1,1	7
A2-61-8У3	7,5	3,3	85	0,78	1,7	1	1,2	6
A2-62-8У3	10	3,3	87	0,79	1,7	1	1,2	7
A2-71-8У3	13	3,3	87,5	0,82	1,7	1	1,1	7
A2-72-8У3	17	3,3	88,5	0,82	1,7	1	1,1	7
A2-81-8У3	22	2,7	89	0,82	1,7	1	1,1	7
A2-82-8У3	30	2,7	90	0,84	1,7	1	1,1	7
A2-91-8У3	40	2	91,5	0,84	1,7	1	1,1	7
A2-92-8У3	55	2	92	0,87	1,7	1	1,1	7

Таблица 9.52. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии АО2, исполнения IM1001 и IM1081



Обозначение габарита двигателя	Габаритные размеры, мм				Установочные и присоединительные размеры, мм						
	L	H	$2B_5$	B_4	l	d	L_8	$2C_2$	$2C$	d_4	h
11 12	298 323	188	188	155	40	18	56	100 125	140	10	90
21 22	336 365	209	212	167	50	22	63	112 140	160	12	100
31 32	374 400	266	244	185	60	28	70	114 140	190		112
41 42	468 506	310	286	222	80	32	89	140 178	216		132
51 52	546 576	361	330	238		38	108	178 210	254		160
61 62	629 667	410	392	275	110	42	121	203 241	279	15	190
71 72	682 721	461	460	313		48	133	228 267	318	19	200
81 82	850 888	551	520	373	140	60	168	311 349	406	24	250
91 92	970 1025	627	598	408		70	190	368 419	457		280

Допустимые отклонения параметров от указанных — по ГОСТ 183-74.

В зависимости от способа монтажа АД выпускались в следующих исполнениях по ГОСТ 2479-79:

двигатели со станиной и щитами из алюминиевого сплава закрытого обдуваемого исполнения (АОЛ2):

1, 2-го габаритов — IM1081, IM2081, IM3081;

3-го габарита — IM1001, IM2001, IM3081;

двигатели со станиной и щитами из чугуна закрытого обдуваемого исполнения (АО2):

3—7-го габаритов — IM1081, IM2081, IM3081;

8, 9-го габаритов — IM1081, IM2081, IM3011, IM3031;

двигатели со станиной и щитами из чугуна защищенного исполнения (А2):

6, 7-го габаритов — IM1001, IM2001, IM3001;

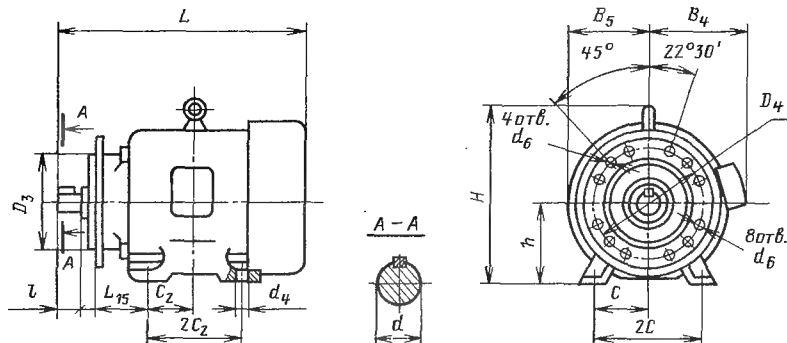
8, 9-го габаритов — IM1001, IM2001.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры АД в зависимости от исполнения АД по ГОСТ 2479-79 указаны в табл. 9.52—9.58.

Допуски на установочные и присоединительные размеры — по ГОСТ 8592-79.

Двигатели выпускались в соответствии с требованиями ГОСТ 13859-68.

Таблица 9.53. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии АО2, исполнения IM2001 и IM2081

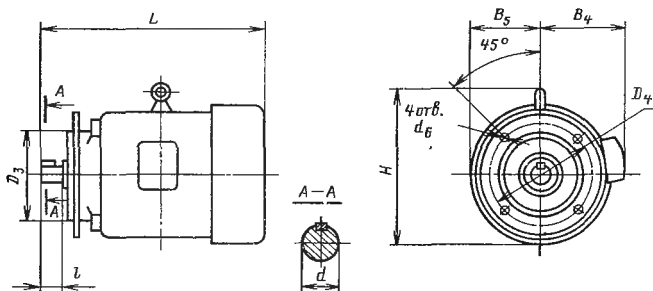


Обозначение габарита двигателя	Габаритные размеры, мм				Установочные и присоединительные размеры, мм												
	L	H	2B ₅	B ₄	l	d	L ₁₅	2C ₂	2C	d ₄	D ₄	D ₃	d ₆	h			
11 12	298 323	188	188	155	40	18	56	100 125	140	10	165	130	12	90			
21 22	336 365	209	418	167	50	22	63	112 140	160	12				215	180	15	100
31 32	374 400	266	532	185	60	28	70	114 140	190		265	230	160				112
41 42	468 506	310	620	222	80	32	89	140 178	216								132
51 52	546 576	361	722	238		38	108	178 210	254								
61 62	629 667	410	820	275	110	42	121	203 2141	279					180			

Продолжение табл. 9.53

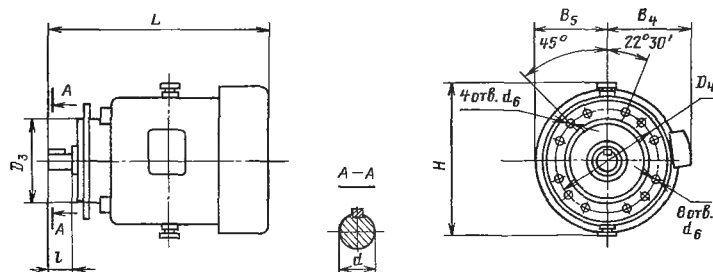
Обозначение габарита двигателя	Габаритные размеры, мм				Установочные и присоединительные размеры, мм									
	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>2B</i> ₅	<i>B</i> ₄	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>L</i> ₁₅	<i>2C</i> ₂	<i>2C</i>	<i>d</i> ₄	<i>D</i> ₄	<i>D</i> ₃	<i>d</i> ₆	<i>h</i>
71 72	682 721	461	922	313	110	48	133	228 267	318	19	400	350	19	200
81 82	850 888	551	1102	373	140	60	168	311 349	406	24	500	450		250
91 92	970 1025	627	1254	408		70	190	368 419	457					280

Таблица 9.54. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии АО2, 1–5-го габаритов исполнения IM3081



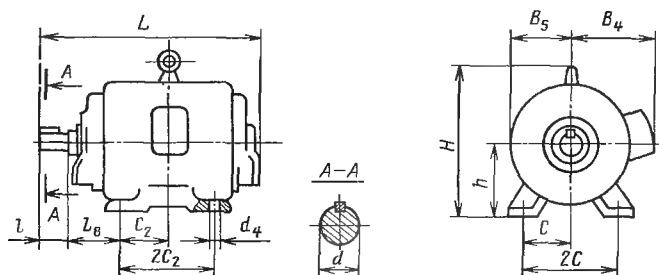
Обозначение габарита двигателя	Габаритные размеры, мм				Установочные и присоединительные размеры, мм				
	L	H	$2B_5$	B_4	l	d	D_4	D_3	d_6
11 12	298 323	188	188	155	40	18	165	130	12
21 22	336 365	208	212	167	50	22			
31 32	374 400	268	244	185	60	28	215	180	15
41 42	468 506	315	286	222	80	32	265	230	
51 52	546 576	362	330	238		38	300	250	19

Таблица 9.55. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии АО2 6—9-го габаритов исполнения IM3011, IM3031, IM3081



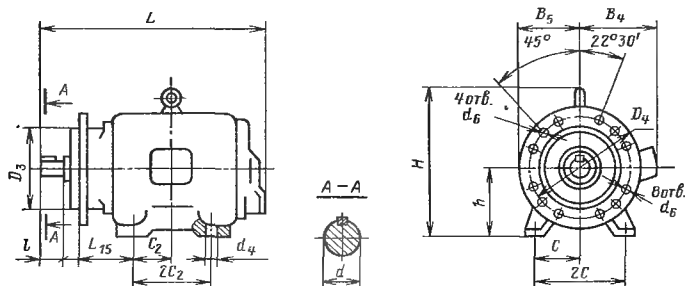
Обозначение габарита двигателя	Габаритные размеры, мм				Установочные и присоединительные размеры, мм				
	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>2B</i> ₅	<i>B</i> ₄	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>D</i> ₄	<i>D</i> ₃	<i>d</i> ₆
61 62	629 667	412	392	275	110	42	300	250	19
71 72	682 721	487	460	313		48	400	350	
81 82	850 888	569	560	373	140	60	500	450	
91 92	970 1025	665	598	408		70			

Таблица 9.56. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии А2, исполнение IM1001



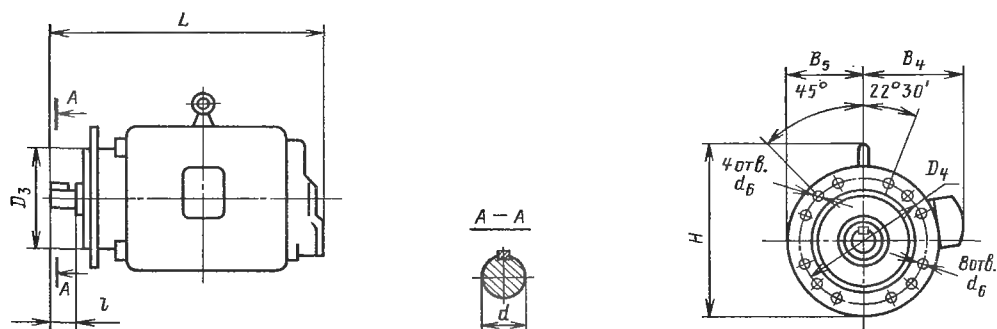
Обозначение габарита двигателя	Габаритные размеры, мм				Установочные и присоединительные размеры, мм						
	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>2B</i> ₅	<i>B</i> ₄	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>L</i> ₈	<i>2C</i> ₂	<i>2 C</i>	<i>d</i> ₄	<i>h</i>
61 62	558 596	410	360	275	110	42	121	203 241	271	15	180
71 72	608 646	461	426	313		48	133	228 267	318	19	200
81 82	784 822	551	500	373	140	60	168	311 349	406	24	250
91 92	894 944	627	576	408		70	190	368 419	457		280

Таблица 9.57. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии А2, исполнение IM2001



Обозначение габарита двигателя	Габаритные размеры, мм				Установочные и присоединительные размеры, мм									
	L	H	$2B_5$	B_4	l	d	L_{15}	$2C_2$	$2C$	d_4	D_4	D_3	d_6	h
61 62	558 596	410	360	275	110	42	121	203 241	279	15	300	250		180
71 72	608 646	461	460	313		48	133	228 267	318	19	400	350	19	200
81 82	784 822	551	560	373	140	60	168	311 349	406	24	500	450		250
91 92	894 944	627	576	408		70	190	368 419	457					280

Таблица 9.58. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии А2, исполнение IM3001



Обозначение габарита двигателя	Габаритные размеры, мм				Установочные и присоединительные размеры, мм				
	L	H	$2B_5$	B_4	l	d	D_4	D_3	d_6
61 62	558 596	405	360	275	110	42	300	250	19
71 72	608 646	486	460	313		48	400	350	

9.9.2. Двигатели серии А2, АО2 с повышенным пусковым моментом (АОП2)

Двигатели с повышенным пусковым моментом предназначались для привода механизмов с большими статическими и инерционными нагрузками в момент пуска. Были разработаны на базе АД серии АО2 4—9-го габаритов в диапазоне мощностей от 4 до

100 кВт. Степень защиты АД — IP44 по ГОСТ 17494-72. Номинальный режим работы — продолжительный S1 по ГОСТ 183-74. Технические данные АД серии АОП2 приведены в табл. 9.59.

Основные габаритные, установочные и присоединительные размеры соответствовали размерам АД основного исполнения.

Двигатели выпускались в соответствии с требованиями ТУ 16-510.561-75.

Таблица 9.59. Технические данные двигателей АОП2

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	КПД, %	$\cos \varphi$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{ном}}}$
----------------------	---------------	--------------------------	--------	----------------	----------------------------------	---	---	----------------------------------

Синхронная частота вращения 1500 об/мин

АОП2-41-4У3	4	1440	85,6	0,81	7	2,2	1,5	1,8
АОП2-42-4У3	5,5	1440	87	0,82	7	2,2	1,5	1,8
АОП2-51-4У3	7,5	1465	88,5	0,82	7,5	2,2	1,5	1,8
АОП2-52-4У3	10	1465	89	0,83	7,5	2,2	1,5	1,8
АОП2-61-4У3	13	1440	88	0,84	7,5	2,2	1,5	1,8
АОП2-62-4У3	17	1440	88	0,84	7,5	2,2	1,5	1,8
АОП2-71-4У3	22	1460	89	0,84	7	2,2	1,5	1,8
АОП2-72-4У3	30	1460	89,5	0,84	7	2,2	1,5	1,8
АОП2-81-4У3	40	1450	91	0,87	7,5	2,2	1,5	1,8
АОП2-82-4У3	55	1450	92	0,87	7,5	2,2	1,5	1,8
АОП2-91-4У3	75	1475	92	0,88	7,5	2,2	1,5	2,1
АОП2-92-4У3	100	1475	93	0,87	7,5	2,2	1,5	2,4

Синхронная частота вращения 1000 об/мин

АОП2-41-6У3	3	960	81,5	0,74	7	2,2	1,5	1,8
АОП2-42-6У3	4	960	81	0,77	7	2,2	1,5	1,8
АОП2-51-6У3	5,5	975	84	0,75	7	2,2	1,5	1,8
АОП2-52-6У3	7,5	975	85,5	0,76	7	2,2	1,5	1,8
АОП2-61-6У3	10	970	86	0,83	7,5	2,2	1,5	1,8
АОП2-62-6У3	13	970	87	0,83	7,5	2,2	1,5	1,8
АОП2-71-6У3	17	970	87,5	0,83	7	2,2	1,5	1,8
АОП2-72-6У3	22	970	88,5	0,84	7	2,2	1,5	1,8
АОП2-81-6У3	30	970	90	0,87	7	2,2	1,5	1,8
АОП2-82-6У3	40	970	91	0,87	7	2,2	1,5	1,8
АОП2-91-6У3	55	975	91	0,88	7,5	2,2	1,5	1,8
АОП2-92-6У3	75	975	91,5	0,88	7,5	2,2	1,5	2,3

Синхронная частота вращения 750 об/мин

АОП2-41-8У3	2,2	710	77,5	0,66	7	2,2	1,4	1,7
АОП2-42-8У3	3	710	80,5	0,67	7	2,2	1,4	1,7
АОП2-51-8У3	4	710	82	0,62	6	2,2	1,4	1,7
АОП2-52-8У3	5,5	710	83,5	0,64	6	2,2	1,4	1,7
АОП2-61-8У3	7,5	720	84,5	0,76	7,5	2,2	1,4	1,7
АОП2-62-8У3	10	720	85,5	0,77	7,5	2,2	1,4	1,7
АОП2-71-8У3	13	730	86	0,77	6	2,2	1,4	1,7
АОП2-72-8У3	17	730	86,5	0,77	6	2,2	1,4	1,7
АОП2-81-8У3	22	730	89,5	0,82	6	2,2	1,4	1,7
АОП2-82-8У3	30	730	91	0,82	6	2,2	1,4	1,7
АОП2-91-8У3	40	735	92	0,82	7,5	2,2	1,4	2,2
АОП2-92-8У3	55	735	92	0,82	7,5	2,2	1,4	2,4

9.9.3. Двигатели серии АО2 с повышенным скольжением (АОС2)

Двигатели с повышенным скольжением (АОС2) предназначались для работы в при-

воде механизмов, характеризующихся наличием больших маховых масс и неравномерным ударным характером графика нагрузки, для привода с большой частотой пусков и реверсов. Они были разработаны

Таблица 9.60. Технические данные двигателей АД АОС2 (режим S3, ПВ = 25 %)

Типоразмер двигателя	Номи- нальная мощность при ПВ = 25%, кВт	При номинальной мощности			$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{НОМ}}}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{НОМ}}}$	$\frac{M_{\min}}{M_{\text{НОМ}}}$	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{НОМ}}}$
		Сколь- жение, %	КПД, %	cos φ				
Синхронная частота вращения 3000 об/мин								
АОЛС2-11-2У3	0,9	9	72,5	0,88	5	2,2	1,7	2,4
АОЛС2-12-2У3	1,3	9	74	0,88	5	2,2	1,7	2,4
АОЛС2-21-2У3	1,8	9	75	0,88	5,5	2,2	1,8	2,4
АОЛС2-22-2У3	2,5	9	77	0,88	5,5	2,2	1,8	2,4
АОС2-31-2У3	3,5	8	79	0,88	7	2,2	1,8	2,4
АОС2-32-2У3	4,8	8	81	0,89	7	2,2	1,8	2,4
АОС2-41-2У3	6,8	8	82	0,89	7	2,2	1,8	2,4
АОС2-42-2У3	9	8	83	0,89	7	2,2	1,8	2,4
АОС2-51-2У3	11	8	83	0,89	7	2,2	1,7	2,4
АОС2-52-2У3	13	8	84	0,9	7	2,2	1,7	2,4
Синхронная частота вращения 1500 об/мин								
АОЛС2-11-4У3	0,6	12	66	0,76	5	2	1,7	2,3
АОЛС2-12-4У3	0,9	12	70	0,78	5	2	1,7	2,3
АОЛС2-21-4У3	1,3	12	70	0,8	4,5	2,2	1,8	2,3
АОЛС2-22-4У3	2	12	75	0,82	4,5	2,2	1,8	2,3
АОС2-31-4У3	3	10	76,5	0,84	6	2	1,6	2,3
АОС2-32-4У3	4	10	78	0,84	6	2	1,6	2,3
АОС2-41-4У3	5,2	10	79	0,88	6	2	1,6	2,3
АОС2-42-4У3	7,5	10	80	0,88	6	2	1,6	2,3
АОС2-51-4У3	9,4	10	81,5	0,88	6	2	1,6	2,3
АОС2-52-4У3	12	10	82	0,88	6	2	1,6	2,3
АОС2-61-4У3	14,5	10	81	0,89	6	2,2	1,9	2,3
АОС2-62-4У3	18,5	10	83	0,89	6	2,2	1,9	2,3
АОС2-71-4У3	23	7	84	0,89	7	2,2	1,9	2,3
АОС2-72-4У3	27	7	85	0,89	7	2,2	1,9	2,3
АОС2-81-4У3	40	6,6	86	0,9	7	2,2	1,9	2,3
АОС2-82-4У3	47	6,6	87,5	0,91	7	2,2	1,9	2,3
АОС2-91-4У3	61	6	86	0,92	7	2,9	1,9	2,3
АОС2-92-4У3	80	6	88	0,92	7	2,3	1,9	2,5
Синхронная частота вращения 1000 об/мин								
АОЛС2-11-6У3	0,4	12	65	0,66	4	1,8	1,5	2,2
АОЛС2-12-6У3	0,6	12	66	0,67	4	1,8	1,5	2,2
АОЛС2-21-6У3	1	12	65	0,69	3,5	2	1,8	2,2
АОЛС2-22-6У3	1,3	12	66,5	0,7	3,5	2	1,8	2,2
АОС2-31-6У3	2	10	72,5	0,72	5	1,8	1,5	2,2
АОС2-32-6У3	2,7	10	74	74	5	1,8	1,5	2,2
АОС2-41-6У3	4	9	74	0,77	5	1,8	1,5	2,2
АОС2-42-6У3	4,7	9	75	0,78	5	1,8	1,5	2,2
АОС2-51-6У3	7	11	76	0,84	6	1,8	1,5	2,2
АОС2-52-6У3	9	11	79,5	0,84	6	1,8	1,5	2,2
АОС2-61-6У3	12,5	10	80	0,89	6	1,9	1,8	2,2
АОС2-62-6У3	15,5	10	80	0,89	6	1,9	1,8	2,2
АОС2-71-6У3	19	8	82	0,89	7	1,9	1,8	2,2
АОС2-72-6У3	23	8	83	0,89	7	1,9	1,8	2,2
АОС2-81-6У3	33	8	84	0,9	7	1,9	1,8	2,2
АОС2-82-6У3	40	8	85	0,91	7	1,9	1,8	2,2
АОС2-91-6У3	55	7	87	0,91	7	2,3	1,5	2
АОС2-92-6У3	64	7	88	0,92	7,5	2,7	1,5	2,5

Продолжение табл. 9.60

Типоразмер двигателя	Номи- нальная мощность при ПВ = 25%, кВт	При номинальной мощности			$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{НОМ}}}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{НОМ}}}$	$\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{НОМ}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{НОМ}}}$
		Сколь- жение, %	КПД, %	cos φ				
Синхронная частота вращения 750 об/мин								
АОС2-41-8У3	3	14,7	71	0,7	5	1,7	1,4	2
АОС2-42-8У3	3,5	14,7	72	0,71	5	1,7	1,4	2
АОС2-51-8У3	5	12	75,5	0,73	6	1,8	1,5	2
АОС2-52-8У3	6,4	12	75,5	0,74	6	1,8	1,5	2
АОС2-61-8У3	10	12	78	0,85	6	1,7	1,6	2
АОС2-62-8У3	12,5	12	78,5	0,85	6	1,7	1,6	2
АОС2-71-8У3	15	8,5	80	0,85	7	1,7	1,6	2
АОС2-72-8У3	18	8,5	83	0,85	7	1,7	1,6	2
АОС2-81-8У3	27,5	6,6	82	0,85	7	1,7	1,6	3
АОС2-82-8У3	33	6,6	83	0,85	7	1,7	1,6	2
АОС2-91-8У3	39	8	82	0,87	7	2,5	1,6	2
АОС2-92-8У3	51	8	85,5	0,86	7	2,4	1,6	2

Таблица 9.61. Наибольшая допустимая мощность, кВт, двигателей серии АОС2 в режиме S3

Типоразмер двигателя	Синхронная частота вращения, об/мин															
	3000				1500				1000				750			
	Продолжительность включения ПВ, %															
	15	40	60	100	15	40	60	100	15	40	60	100	15	40	60	100
АОЛС2-11	1,1	0,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	—	—	—	—
АОЛС2-12	1,6	1,3	1,3	1,1	1,1	0,9	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	—	—	—	—
АОЛС2-21	2	1,6	1,5	1,5	1,4	1,2	1,1	1	1,1	0,9	0,8	0,65	—	—	—	—
АОЛС2-22	2,7	2,1	2	2	2,3	1,8	1,7	1,4	1,5	1,2	1	0,9	—	—	—	—
АОС2-31	4,6	3,4	3	2,8	4,1	3	2,6	2,1	2,6	2	1,7	1,4	—	—	—	—
АОС2-32	6,5	4,7	4,3	3,8	5	3,6	3,2	2,6	3,5	2,5	2,2	1,6	—	—	—	—
АОС2-41	8,6	6,3	5,7	5	6,2	4,8	4,3	3,7	4,8	3,4	2,9	2,1	3,5	2,5	1,9	1,5
АОС2-42	11,3	8,3	7,2	6,5	8,5	6	5,5	4,8	5,9	4	3,4	2,7	4,1	3,1	2,5	1,9
АОС2-51	14	10	8,8	8,3	11	8	6,8	6,2	7,8	5,4	4,8	4,1	6,1	4,4	3,7	3
АОС2-52	16,4	11,8	10,7	10	14	9,6	8,6	7,8	11	7,7	6,6	5,8	8,3	6	5,1	4,4
АОС2-61	—	—	—	—	17	12,5	10,5	9	15	11	9,5	8,5	11	8,5	7,5	6,5
АОС2-62	—	—	—	—	23	16,5	14,5	13	18,5	14	12,5	10	15	11	9,5	10
АОС2-71	—	—	—	—	25	20	18	16,5	22	17	15,5	14	18	13	11,5	10
АОС2-72	—	—	—	—	30	24	22	20	26	20,5	19	16	21,5	16	14	12
АОС2-81	—	—	—	—	42	36	33	30	37	29	26	22	31	24,5	22	19
АОС2-82	—	—	—	—	50	43	40	36	45	35	31,5	27	38	29	26	23
АОС2-91	—	—	—	—	68	58	53	49	64	47	44	42	44	36	30	29
АОС2-92	—	—	—	—	85	75	68	65	80	57	54	47	67	45	42	38

на базе АД серии АОЛ2 основного исполнения 1-го и 2-го габаритов и АД серии АО2 3—9-го габаритов в диапазоне мощностей от 0,6 до 80 кВт. Степень защиты АД — IP44 по ГОСТ 17494-72. Номинальные мощности АД серии АОС2 относятся к повторно-кратковременному режиму S3 по ГОСТ 183-74 с продолжительностью включения ПВ = 25%. Технические данные АД серии АОС2 приведены в табл. 9.60. Скольжение при максимальном вращающем моменте равно

50%. Значения наибольших допустимых мощностей АД в повторно-кратковременном режиме работы с продолжительностью включения, отличной от ПВ = 25%, указаны в табл. 9.61.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры аналогичны размерам АД основного исполнения.

Двигатели выпускались в соответствии с требованиями ТУ 16-510.559-75.

9.9.4. Многоскоростные двигатели серии А2, АО2

Двигатели серии А2 и АО2 предназначались для привода механизмов со ступенчатой регулировкой частоты вращения. Они были разработаны на базе АД серии АОЛ2 1–3-го габаритов и АО2 3–9-го габаритов в диапазоне мощностей от 0,43 до 45 кВт. Степень защиты АД – IP44 по ГОСТ 17494-72. Номинальный режим работы – продолжительный S1 по ГОСТ 183-74. Технические данные АД серии АО2 для номи-

нального режима работы в зависимости от частоты вращения указаны в табл. 9.62. Отношение минимального вращающего момента в процессе пуска к номинальному при включении на наибольшую частоту вращения равно 1, для остальных частот вращения – 0,8.

Основные габаритные, установочные и присоединительные размеры аналогичны соответствующим размерам базовых АД.

Двигатели выпускались в соответствии с требованиями ТУ 16-510.560-75.

Таблица 9.62. Технические данные многоскоростных двигателей серии АО2

Типоразмер двигателя	Число полюсов	Мощность на валу, кВт	Частота вращения, об/мин	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{ном}}}$
Двухскоростные двигатели								
Синхронная частота вращения 1500/3000 об/мин								
Схема соединения обмотки Д/УУ								
АОЛ2-11-4/2	4	0,43	1400	66	0,77	1,3	2	7
	2	0,53	2700	68	0,89	1,1		
АОЛ2-12-4/2	4	0,6	1400	70	0,77	1,3	2	7
	2	0,85	2700	70	0,89	1,3		
АОЛ2-21-4/2	4	0,7	1400	74	0,76	1,3	2	7
	2	0,9	2720	70	0,9	1,1		
АОЛ2-22-4/2	4	1	1400	76	0,78	1,3	2	7
	2	1,4	2720	74	0,9	1,1		
АО2-31-4/2 (АОЛ2-31-4/2)	4	1,8	1430	77,5	0,78	1,3	2	7
	2	2,3	2830	75	0,88	1,1		
АО2-32-4/2 (АОЛ2-32-4/2)	4	2,3	1430	81	0,8	1,3	2	7
	2	2,9	2830	79	0,9	1,1		
АО2-41-4/2	4	3,3	1460	84	0,83	1,3	2	7
	2	4,1	2830	80	0,9	1,1		
АО2-42-4/2	4	4,7	1460	86	0,86	1,3	2	7
	2	5,5	2860	82,5	0,92	1,1		
АО2-51-4/2	4	6,1	1470	87	0,83	1,5	2	7
	2	7,3	2925	82	0,9	1,5		
АО2-52-4/2	4	8,3	1470	87	0,84	1,5	2	7
	2	10,2	2925	84	0,91	1,5		
АО2-61-4/2	4	8,5	1450	86,5	0,82	1,3	2	7
	2	10	2890	84	0,9	1,1		
АО2-62-4/2	4	11,5	1450	87,5	0,83	1,3	2	7
	2	14,5	2890	85,5	0,9	1,1		
АО2-71-4/2	4	15,5	1450	85,5	0,83	1,3	2	7
	2	19,5	2880	83,5	0,9	1,1		
АО2-81-4/2	4	31,0	1420	91	0,88	1,3	2	7
	2	37,5	2920	87	0,94	1,1		
АО2-82-4/2	4	37,5	1420	91	0,91	1,3	2	7,5
	2	44	2920	88	0,94	1,1		
Синхронная частота вращения 1000/1500 об/мин								
Схема соединения обмотки У/У								
АО2-31-6/4* (АОЛ2-31-6/4)*	6	0,75	955	69,5	0,69	1,3	2	7
	4	1,1	1440	76,5	0,81	1,3		
АО2-32-6/4* (АОЛ2-32-6/4)*	6	1,1	955	73	0,71	1,3	2	7
	4	1,6	1440	78	0,82	1,3		

Продолжение табл. 9.62

Типоразмер двигателя	Число полюсов	Мощность на валу, кВт	Частота вращения, об/мин	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{ном}}}$
АО2-41-6/4*	6	1,6	950	78	0,75	1,3	2	7
	4	2,3	1430	80	0,84	1,3		
АО2-42-6/4*	6	2,1	950	79	0,77	1,3	2	7
	4	3	1430	83	0,85	1,3		
АО2-51-6/4*	6	3,1	975	83	0,74	1,3	2	7
	4	4,7	1475	85	0,81	1,3		
АО2-52-6/4*	6	4,2	975	83	0,74	1,3	2	7
	4	6,3	1475	86	0,84	1,3		
АО2-31-6/4** (АОЛ2-31-6/4)**	6	0,9	955	72	0,72	1,3	2	7
	4	0,9	1440	75,5	0,81	1,3		
АО2-32-6/4** (АОЛ2-32-6/4)**	6	1,2	955	74	0,73	1,3	2	7
	4	1,2	1440	78	0,82	1,3		
АО2-41-6/4**	6	1,8	950	79	0,73	1,3	2	7
	4	1,8	1430	78,5	0,86	1,3		
АО2-42-6/4**	6	2,4	950	80,5	0,74	1,3	2	7
	4	2,4	1430	80	0,87	1,3		
АО2-51-6/4**	6	3,7	975	84	0,75	1,3	2	7
	4	3,7	1475	84	0,82	1,3		
АО2-52-6/4**	6	4,7	975	85	0,77	1,3	2	7
	4	4,7	1475	85	0,83	1,3		

Синхронная частота вращения 750/1500 об/мин

Схема соединения обмотки Д/УУ

АО2-41-8/4	8	1,6	720	77	0,65	1,2	2	7
	4	2,5	1420	80,5	0,88	1		
АО2-42-8/4	8	2,3	720	77	0,65	1,2	2	7
	4	3,9	1420	81,5	0,89	1		
АО2-51-8/4	8	2,8	715	79	0,66	1,3	2	6
	4	4,6	1430	82	0,87	1,3		
АО2-52-8/4	8	3,8	715	81	0,66	1,3	2	6
	4	6,3	1430	84	0,87	1,3		
АО2-61-8/4	8	5,5	700	80	0,76	1,2	2	6
	4	8,5	1400	82	0,91	1		
АО2-62-8/4	8	7	700	81	0,77	1,2	2	6
	4	10,5	1400	83	0,91	1		
АО2-71-8/4	8	10	700	85	0,79	1,2	2	7
	4	14,5	1400	86	0,91	1		
АО2-72-8/4	8	13,5	700	86	0,79	1,2	2	7
	4	19,5	1400	88	0,92	1		
АО2-81-8/4	8	19	725	88	0,79	1,2	2	7
	4	28	1450	88	0,93	1,1		
АО2-82-8/4	8	24	725	89	0,79	1,2	2	7
	4	34	1450	90	0,94	1,1		
АО2-91-8/4	8	35	735	89	0,71	1	2	6
	4	45	1470	89	0,86	1		
АО2-92-8/4	8	45	735	90	0,74	1	2	6
	4	60	1470	90,5	0,88	1		

Синхронная частота вращения 500/1000 об/мин

Схема соединения обмотки Д/УУ

АО2-61-12/6	12	3,2	460	73	0,53	1,2	2	5
	6	6	910	80	0,88	1,1		
АО2-62-12/6	12	3,8	470	74	0,53	1,2	2	5
	6	7,5	920	84	0,88	1,1		

Продолжение табл. 9.62

Типоразмер двигателя	Число полюсов	Мощность на валу, кВт	Частота вращения, об/мин	КПД, %	cosφ	$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{ном}}}$
АО2-72-12/6	12	7,5	480	79	0,56	1,2		
	6	14	950	86	0,88	1,1	2	7
АО2-81-12/6	12	10	490	83	0,57	1,2		
	6	19	970	88	0,89	1,1	2	7
АО2-82-12/6	12	14	490	84	0,57	1,2		
	6	25	970	89	0,89	1,1	2	7
АО2-91-12/6	12	18	485	82	0,55	0,9	1,9	5
	6	32	970	88	0,8	0,9	1,9	6
АО2-92-12/6	12	25	485	85	0,56	0,9	1,8	4,5
	6	45	970	90	0,82	0,9	1,9	6,5

Трехскоростные двигатели
Синхронная частота вращения 1000/1500/3000 об/мин
Схема соединения обмотки У/Д/УУ

АО2-31-6/4/2	6	0,75	955	67,5	0,7	1,3		
АОЛ2-31-6/4/2	4	0,9	1455	71	0,78	1,3	2	7
	2	1,2	2875	69	0,9	1,1		
АО2-32-6/4/2	6	1,1	955	72	0,71	1,3		
АОЛ2-32-6/4/2	4	1,3	1455	75	0,8	1,3	2	7
	2	1,7	2875	74	0,91	1,1		
АО2-41-6/4/2	6	1,7	940	77	0,77	1,3		
	4	2	1440	77	0,83	1,3	2	7
	2	2,4	2800	73	0,9	1,1		
АО2-42-6/4/2	6	2,1	940	78,5	0,77	1,3		
	4	2,4	1440	78,5	0,85	1,3	2	7
	2	2,9	2800	75	0,92	1,1		
АО2-51-6/4/2	6	3	960	78	0,75	1,3		
	4	3,3	1460	81	0,85	1,3	2	7
	2	4	2910	73	0,9	1,3		
АО2-52-6/4/2	6	4	960	80	0,75	1,3		
	4	4,5	1460	82	0,85	1,3	2	7
	2	5,7	2910	78	0,9	1,3		

Синхронная частота вращения 750/1000/1500 об/мин
Схема соединения обмотки Д/У/УУ

АО2-61-8/6/4	8	3,8	700	77	0,73	1,2		6
	6	4,8	950	78,5	0,81	1,2	2	6
	4	6	1400	79,5	0,91	1		7
АО2-62-8/6/4	8	4,8	710	78	0,74	1,2		6
	6	5,7	950	81	0,85	1,2	2	6
	4	7,5	1430	81,5	0,91	1		7
АО2-71-8/6/4	8	7,1	730	81	0,76	1,2		
	6	8,3	965	82	0,86	1	2	7
	4	10,5	1450	82,5	0,91	1,2		
АО2-72-8/6/4	8	9,2	730	82	0,76	1,2		
	6	10,7	965	83	0,86	1	2	7
	4	13,5	1450	83,5	0,91	1,2		
АО2-81-8/6/4	8	13	710	84	0,76	1,2		
	6	15	960	85	0,88	1	2	7
	4	19	1440	84	0,93	1,2		
АО2-82-8/6/4	8	17	710	86	0,83	1,2		
	6	20	960	86	0,9	1	2	7
	4	25	1440	86	0,93	1,2		
	8	25	735	86	0,71	1,2		6

Продолжение табл. 9.62

Типоразмер двигателя	Число полюсов	Мощность на валу, кВт	Частота вращения, об/мин	КПД, %	cosφ	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{I_n}{I_{ном}}$
АО2-91-8/6/4	6	30	980	87	0,82	1	2	6
	4	36	1470	87	0,88	1		7
	8	36	735	87	0,72	1,2		7
АО2-92-8/6/4	6	40	980	87	0,84	1	2	6
	4	50	1470	87	0,89	1		7

Четырехскоростные двигатели
Синхронная частота вращения 500/750/1000/1500 об/мин
Схема соединения обмотки Д/Д/УУ/УУ

АО2-61-12/8/6/4	12	1,6	460	63	0,55	1,4		5
	8	3,2	690	74	0,76	1,2		5
	6	3,2	910	75	0,9	1,1	2	6
	4	5	1400	78	0,91	1		7
АО2-62-12/8/6/4	12	2	470	65	0,55	1,4		5
	8	4	700	75	0,76	1,2		5
	6	4,6	910	76	0,9	1,1	2	6
	4	6,5	1400	79	0,92	1		7
АО2-71-12/8/6/4	12	3,3	480	71	0,56	1,4		
	8	5,8	710	78	0,77	1,2		
	6	5,8	930	80	0,9	1,1	2	7
	4	8,5	1420	79	0,91	1		
АО2-72-12/8/6/4	12	4,2	480	72	0,57	1,4		
	8	7,5	710	80	0,78	1,2		
	6	8,5	930	82	0,9	1,1	2	7
	4	12	1420	83	0,92	1		
АО2-81-12/8/6/4	12	5,6	480	76	0,6	1,4		
	8	9	725	80	0,78	1,1		
	6	12	950	83	0,92	1,2	2	7
	4	15	1440	83	0,94	1		
АО2-82-12/8/6/4	12	8	480	78	0,64	1,4		
	8	13	725	84	0,79	1,1		
	6	15	950	84	0,92	1,2	2	7
	4	20	1440	84,5	0,94	1		
АО2-91-12/8/6/4	12	11	490	77	0,55	1	2	5
	8	18	735	84	0,62	1	2	6,5
	6	22	980	85	0,84	0,8	1,9	6
	4	26	1470	86	0,84	0,8	2	7
АО2-92-12/8/6/4	12	15	490	79	0,55	1,1	2	5
	8	25	735	85	0,68	1	2	6
	6	30	980	88	0,86	0,8	1,9	6
	4	36	1470	87	0,89	0,8	2	7

* Регулирование частоты вращения при постоянном моменте.

** То же при постоянной мощности.

9.9.5. Двигатели серии А2, АО2 с фазным ротором (АОК2, АК2)

Двигатели с фазным ротором предназначались для привода механизмов, требующих плавного регулирования частоты вращения. Они были разработаны на основе АД серии АО2 и А2 5—9-го габаритов. Климатическое исполнение — У категории размеще-

ния 3 и Т категории 2 для АД 5—7-го и 9-го габаритов, 4—для АД 8-го габарита по ГОСТ 15150-69.

Форма исполнения по способу монтажа: АД 5-го габарита — IM1081, IM2081, IM3081; 6—8-го габаритов — IM1001; 9-го габарита — IM1001, IM2001.

Технические данные АД указаны в табл. 9.63 и 9.64.

Габаритные, установочные и присоеди-

Таблица 9.63. Технические данные двигателей АОК2 (АК2)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Ток ротора, А	Напряжение ротора, В	Момент инерции, кг·м ²
АОК2-51-4У3	5,5	1420	85	0,82	2,5	15	211	0,07
АОК2-52-4У3	7,5	1420	87	0,8	2,5	15	298	0,085
АОК2-51-6У3	4	950	82	0,78	2,5	21	112	0,103
АОК2-52-6У3	5,5	950	83	0,78	2,5	21	153	0,135
АОК2-51-8У3	3	705	78	0,71	2	15	116	0,1
АОК2-52-8У3	4	705	80	0,72	2	15	157	0,13
АОК2-61-4У3	10	1420	85	0,82	2	40	160	0,14
АОК2-61-6У3	7,5	960	84	0,82	1,8	35	140	0,24
АОК2-62-6У3	10	960	84	0,83	1,8	36	180	0,29
АОК2-61-8У3	5,5	710	82	0,72	1,7	32	115	0,26
АОК2-71-4У3	17	1430	88	0,83	2	49,3	215	0,33
АОК2-72-4У3	22	1430	88,5	0,83	2	50,1	275	0,4
АОК2-71-6У3	13	960	87	0,83	1,8	42,6	195	0,62
АОК2-72-6У3	17	960	88	0,84	1,8	44,6	230	0,73
АОК2-71-8У3	10	715	84,5	0,72	1,7	47,8	150	0,62
АОК2-72-8У3	13	715	85	0,72	1,7	50	185	0,55
АОК2-81-4У3	40	1440	90	0,87	2	225	110	0,65
АК2-82-4У3	55	1440	91,5	0,84	2	200	160	1,83
АК2-81-6У3	30	970	89,5	0,84	1,8	150	125	1,18
АК2-82-6У3	40	970	91	0,85	1,8	155	165	1,43
АК2-81-8У3	22	725	87,5	0,80	1,7	150	95	1,13
АК2-82-8У3	30	725	88	0,79	1,7	150	130	1,43
АК2-91-4У3	75	1450	90	0,85	2	260	185	0,95
АК2-92-4У3	100	1450	90,5	0,85	2	275	235	1,13
АК2-91-6У3	55	960	89	0,87	1,8	240	150	1,63
АК2-92-6У3	75	960	90,5	0,86	1,8	220	215	2,13
АК2-91-8У3	40	720	87,5	0,81	1,7	225	120	1,6
АК2-92-8У3	55	725	90	0,81	1,7	200	175	2,28

Таблица 9.64. Технические данные двигателей АК2 тропического исполнения, 9-го габарита

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Ток ротора, А	Напряжение ротора, В	Момент инерции ротора, кг·м ²
АК2-91-4Т2	55	1450	89	0,84	2	210	170	0,95
АК2-92-4Т2	75	1450	90	0,85	2	230	205	1,13
АК2-91-6Т2	40	960	87	0,85	1,8	200	135	1,63
АК2-92-6Т2	55	960	89	0,87	1,8	185	180	2,13
АК2-91-8Т2	30	720	86	0,8	1,7	190	105	1,6
АК2-92-8Т2	40	720	87,5	0,81	1,7	175	150	2,28

нительные размеры и масса АД с фазным ротором в зависимости от формы исполнения указаны в табл. 9.65.

Двигатели серии АОК2, АК2 выпускались в соответствии с ТУ 16-511.020-76.

Таблица 9.65. Габаритные, установочные и присоединительные размеры и масса двигателей АОК2 и АК2

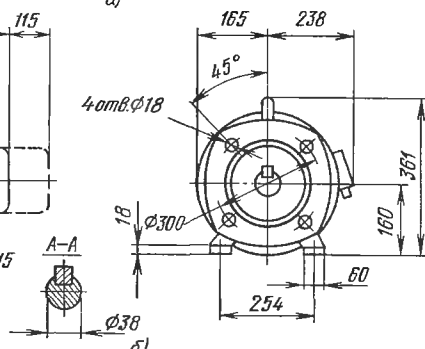
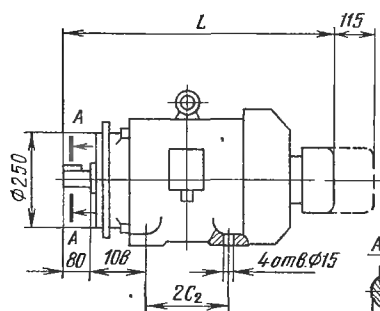
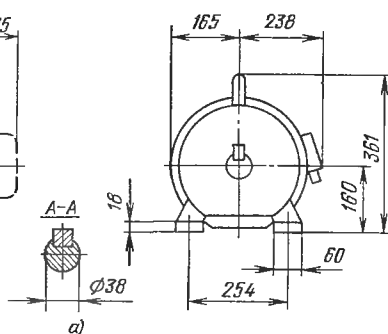
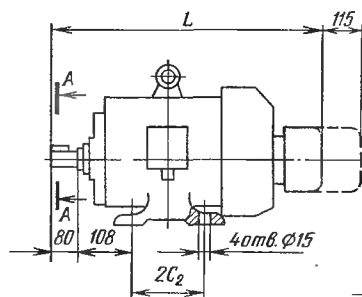
Типоразмер двигателя	Рисун-ок	Число полюсов	Размеры, мм		Масса, кг, не более
			L	2C ₂	

Исполнение IM1081

AOK2-51	a	4, 6, 8	715	178	108
AOK2-52		4	745	210	122
		6, 8			126

Исполнение IM2081

AOK2-51	6	4	715	178	114
		6,8			112
AOK2-52		4	745	210	128
		6, 8			132



Продолжение табл. 9.65

Типоразмер двигателя	Рисун-ок	Число полюсов	Размеры, мм		Масса, кг, не более
			L	2C ₂	

Исполнение IM3081

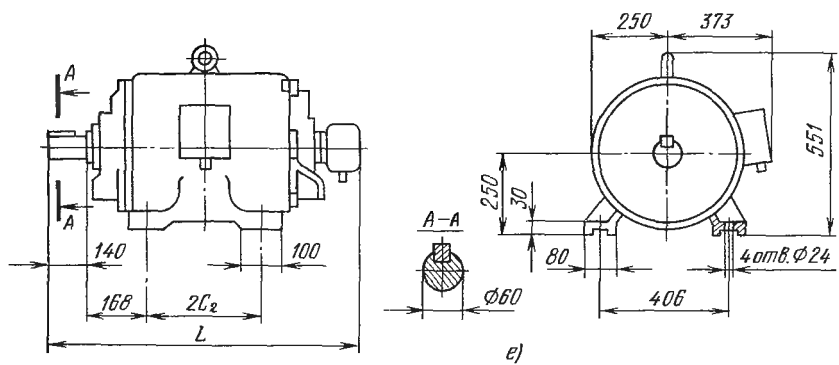
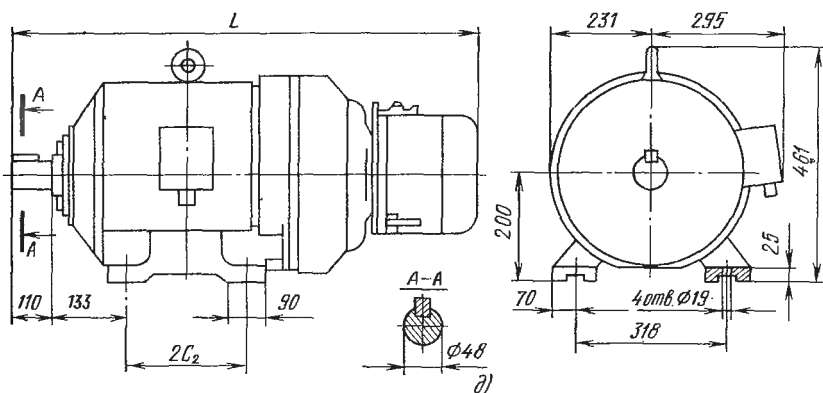
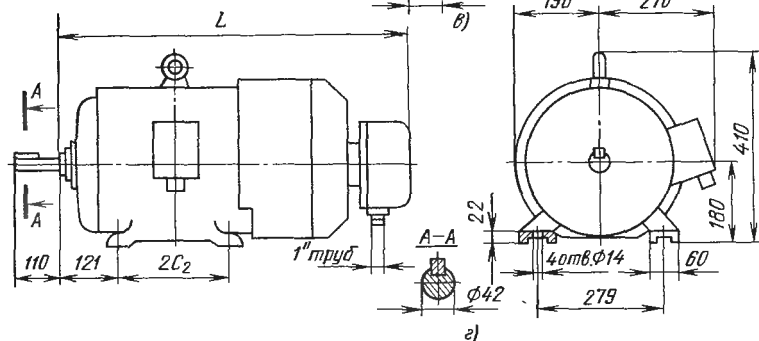
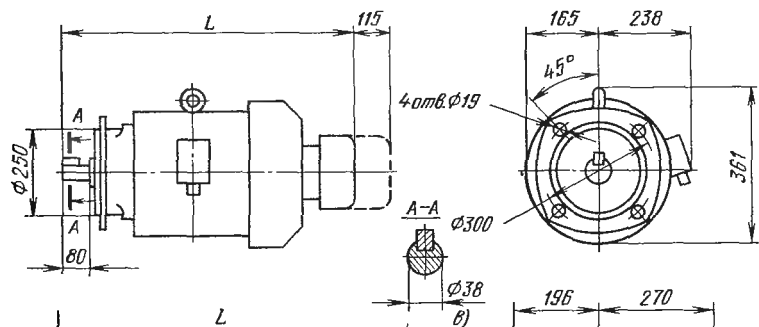
АОК2-51	в	4, 6	715	—	108
		8			106
АОК2-52		4, 6	745	—	122
		8			126

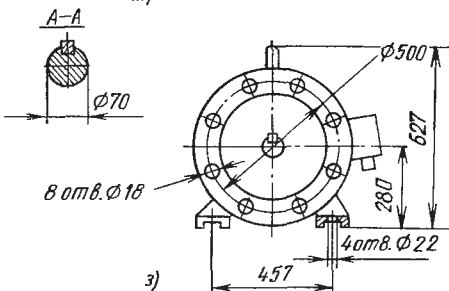
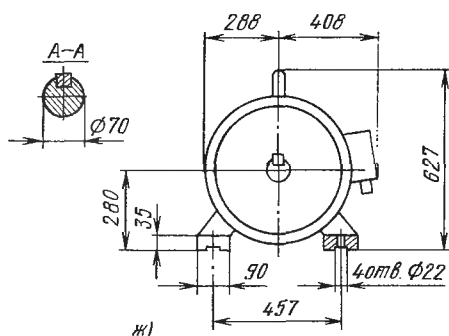
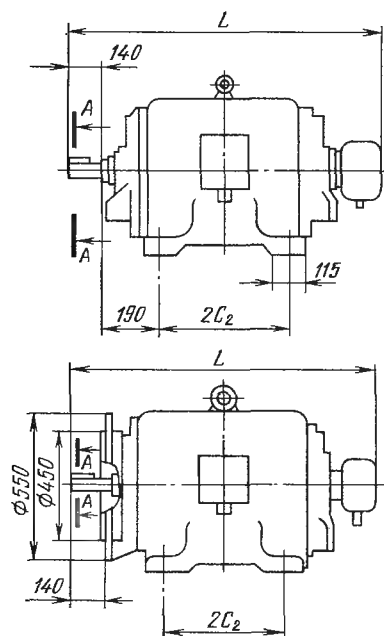
Исполнение IM1001

АОК2-61	г	4	855	203	160
		6, 8			166
АОК2-62		6	895	241	190
АОК2-71 АОК2-72	д	4, 6, 8	903	228	230
		4, 6, 8	942	267	260
АК2-81 АК2-82	е	4, 6, 8	1000	311	360
		4, 6, 8	1038	349	415
АК2-91 АК2-92	ж	4, 6, 8	1100	368	490
		4, 6, 8	1160	419	580

Исполнение IM2001

АК2-91 АК2-92	з	4, 6, 8	1100	368	510
		4, 6, 8	1160	419	600





9.9.6. Двигатели серии А2 встраиваемые (АВ2, АПВ2, АСВ2)

Двигатели предназначались для встраивания в механизмы. Они разработаны на базе АД серии АО2 1—8-го габаритов основного исполнения, а также электрических модификаций и представляли собой обмотанный сердечник статора и ротор с литой обмоткой. Форма исполнения по способу монтажа — ИМ5010 по ГОСТ 2479-79.

Основные параметры АД соответствовали: основного исполнения — ГОСТ 13859-68; с повышенным пусковым моментом — ТУ 16-510.561-75; с повышенным скольжением — ТУ 16-510.559-75; многоскоростные — ТУ 16-510.560-75.

Двигатели выпускались в соответствии с ТУ 16-510.181-75.

9.9.7. Двигатели серии А2, АО2 тропического исполнения (Т)

Двигатели предназначались для поставок на экспорт в страны с тропическим климатом. Были разработаны на базе АД серии А2 и АО2 основного исполнения, электрических модификаций и встраиваемых в диапазоне мощностей от 0,6 до 100 кВт. Климатическое исполнение — Т категории размещения — 2 и 3 по ГОСТ 15150-69. Двигатели соответствовали требованиям ГОСТ 15963-79. Основные параметры, габаритные,

установочные и присоединительные размеры АД тропического исполнения соответствовали данным основного исполнения и модификаций. Номинальная мощность АД 9-го габарита на одну ступень ниже, чем у АД общего назначения.

Двигатели выпускались в соответствии с требованиями ТУ 16-510.576-75.

9.9.8. Двигатели серии А2, АО2 химстойкого исполнения (Х)

Двигатели предназначались для работы в химически активных средах. Они были разработаны на базе АД серии АО2: основного исполнения 3—7-го габаритов; с повышенным пусковым моментом 4—6-го габаритов; с повышенным скольжением 3, 4 и 6-го габаритов; многоскоростных 3, 4-го габаритов.

Климатическое исполнение — У категории 3 по ГОСТ 15150-69. Номинальные значения климатических факторов — по ГОСТ 15543-70 и ГОСТ 15150-69 для работы в условиях, оговоренных в ГОСТ 13859-68. Основные параметры, габаритные, установочные и присоединительные размеры АД химстойкого исполнения соответствовали данным основного исполнения и модификаций. Номинальная мощность АД 5-го габарита основного исполнения и с повышенным пусковым моментом на одну ступень ниже, чем АД общего назначения.

Двигатели выпускались в соответствии с требованиями ТУ 16-510.208-75.

9.9.9. Двигатели серии А2, АО2 сельскохозяйственного исполнения (СХ)

Двигатели предназначались для эксплуатации на предприятиях сельского хозяйства в невзрывоопасной окружающей среде с концентрацией пыли и присутствием химических реагентов, оговоренных в ГОСТ 19348-82. Они были разработаны на базе АД серии АО2 5—7-го габаритов основного исполнения и с повышенным пусковым моментом и имели степень защиты IP44 по ГОСТ 17494-72. Номинальные значения климатических факторов — по ГОСТ 15543-70 и ГОСТ 15150-69 для исполнения У категории 1. Двигатели допускали попадание на корпус дезинфицирующих средств.

Технические данные АД сельскохозяйственного исполнения приведены в табл. 9.66. Габаритные, установочные и присоединительные размеры АД сельскохозяйственного исполнения соответствуют данным базовых АД основного исполнения.

Двигатели выпускались в соответствии с требованиями ТУ 16-510.464-78.

9.9.10. Двигатели серии А2, АО2 влагоморозостойкого исполнения (ХЛ)

Двигатели предназначались для работы при номинальных значениях климатических

факторов по ГОСТ 15543-70 и ГОСТ 15150-69 при высоте над уровнем моря не более 1000 м и температуре окружающей среды —45°С. Они были разработаны на базе АД серии АО2 основного исполнения, электрических модификаций и встраиваемых в диапазоне мощностей от 2,2 до 100 кВт. Климатическое исполнение — У, категория размещения — 2 по ГОСТ 15150-69. Типоразмеры, основные номинальные данные, габаритные, присоединительные и установочные размеры соответствовали данным базовых АД.

Двигатели выпускались в соответствии с требованиями ТУ 16-510.194-75.

9.9.11. Двигатели серии А2, АО2 уплотненные от проникновения пыли (УП)

Двигатели предназначались для привода механизмов в пыльных помещениях классов В-IIа и П-II в условиях умеренного климата.

Они разработаны на базе АД серии АО2 основного исполнения и электрических модификаций в диапазоне мощностей от 0,6 до 100 кВт. Климатическое исполнение — У, категория — 3 по ГОСТ 15150-69, условия эксплуатации — по группе М1 по ГОСТ 11516-79. Типоразмеры, основные параметры, габаритные, присоединительные и установочные размеры соответствовали данным базовых АД.

Двигатели выпускались в соответствии с требованиями ТУ 16-510.324-75.

Таблица 9.66. Технические данные двигателей серии АО2 сельскохозяйственного исполнения (СХ)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
АО2-51-2СХУ1	10	87	0,89	1,5	2,5	1	7
АО2-52-2СХУ1	13	87	0,89	1,5	2,5	1	7
АО2-62-2СХУ1	17	87	0,9	1,7	2,5	1,5	7,5
АО2-71-2СХУ1	22	87,5	0,9	1,5	2,5	1,2	7
АО2-72-2СХУ1	30	88,5	0,9	1,5	2,5	1,2	7,5
АОП2-51-4СХУ1	7,5	87	0,82	1,8	2,5	1,5	7,5
АОП2-52-4СХУ1	10	87	0,83	1,8	2,5	1,5	7,5
АОП2-61-4СХУ1	13	87	0,85	1,8	2,5	1,5	7,5
АОП2-62-4СХУ1	17	87,5	0,84	1,8	2,5	1,5	7,5
АОП2-71-4СХУ1	22	89,5	0,85	1,8	2,5	1,5	7
АОП2-72-4СХУ1	30	89	0,85	1,8	2,5	1,5	7
АОП2-51-6СХУ1	5,5	83,5	0,75	1,8	2,5	1,5	6
АОП2-52-6СХУ1	7,5	84	0,76	1,8	2,5	1,5	6
АОП2-61-6СХУ1	10	85,5	0,83	1,8	2,2	1,5	7
АОП2-62-6СХУ1	13	86	0,83	1,8	2,5	1,5	7
АОП2-71-6СХУ1	17	88	0,84	1,8	2,5	1,5	7
АОП2-72-6СХУ1	22	88,5	0,83	1,8	2,5	1,5	7
АОП2-61-8СХУ1	7,5	84,5	0,76	1,7	2,2	1,5	7,5
АОП2-62-8СХУ1	10	85	0,77	1,7	2,2	1,5	7,5

Таблица 9.67. Технические данные двигателей серии А2 хладономаслостойкого исполнения (Ф)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
АПВ2-31-4Ф	1,7	2,8	80,5	0,68	3,5	2,5	2	7,8
АПВ2-32-4Ф	2,1	2,3	82,4	0,69	4,2	3,1	2,5	8,2
АПВ2-41-4Ф	3,1	3,5	82,2	0,71	3,8	3,1	2,5	7,8
АПВ2-42-4Ф	5	3,2	84,5	0,75	3,9	3,1	2,5	8,1
АПВ2-41-6Ф	2,1	3	74,6	0,58	3,6	3,1	2,5	6
АПВ2-51-4Ф	6,5	3,3	86	0,77	4,1	3,2	2,5	8,5
АПВ2-51-6Ф	5	2,5	84	0,63	3,3	2,5	2,2	7
АПВ2-51-8/4Ф*	1,5	2,7	72	0,4	5,5	3,3	3	5
	3,1	3,3	81	0,78	4	2,2	5,7	7,5
АПВ2-70-4Ф	15	4	87	0,79	2,9	2,3	1,7	6
АПВ2-70-6Ф	11	4,5	83	0,8	2	1,6	1,6	5,5

* Технические данные указаны в соответствии с числом пар полюсов.

9.9.12. Двигатели серии А2, АО2 хладономаслостойкого исполнения (Ф)

Двигатели предназначались для привода герметичных и бесальниковых хладоновых компрессоров, эксплуатируемых во всех климатических районах и категорий размещения по ГОСТ 15150-69. Они были разработаны на базе АД серии АО2. Двигатели представляют собой трехфазные короткозамкнутые встраиваемые хладономаслостойкие АД с повышенным пусковым моментом. Номинальный режим работы — продолжительный S1 по ГОСТ 183-74.

Степень защиты АД от воздействия окружающей среды — IP67 по ГОСТ 14254-80 — обеспечивалась в составе компрессорной установки.

Форма исполнения АД по способу монтажа — IM5010 по ГОСТ 2479-79.

Двигатели изготавливались на напряжение 220/380 В с шестью выводными концами, схема соединения обмотки — Д/У.

Технические данные АД хладономаслостойкого исполнения приведены в табл. 9.67. Двигатели, предназначенные для работы от сети переменного тока частотой 60 Гц, имеют синхронную частоту вращения, кратность начального пускового тока на 20% выше указанных в таблице.

Двигатели выпускались в соответствии с требованиями ТУ 16-510.226-75, ТУ 16-510.485-74, ТУ 16-513.080-86.

9.9.13. Двигатели серии А2, АО2 для гражданского морского и речного флота (ОМ)

Двигатели предназначались для привода судовых вспомогательных механизмов на морских судах неограниченного района пла-

вания и речных судах смешанного и внутреннего плавания. Они были разработаны на базе АД серии АО2 5—9-го габаритов основного исполнения, а также АД с повышенным пусковым моментом и повышенным скольжением. Режим работы — продолжительный S1 по ГОСТ 183-74, для АД с повышенным скольжением — S3 по ГОСТ 183-74 при ПВ = 25%.

Климатическое исполнение АД, предназначенных для эксплуатации в условиях, нормированных для категорий 2—5, — по ГОСТ 15150-69.

Условия эксплуатации АД в части воздействия механических факторов внешней среды — по группе M31 ГОСТ 17516-72.

Степень защиты АД от воздействия окружающей среды — не ниже IP44 по ГОСТ 17494-72 для АД 5—8-го габаритов и IP23 для АД 9-го габарита.

Форма исполнения по способу монтажа по ГОСТ 2479-79: АД 5—7-го габаритов — IM1081, IM2081, IM3081; 8-го габарита — IM1081, IM2081, IM3011; 9-го габарита — IM1081, IM2081, IM3011, IM3031.

Двигатели основного исполнения и электрических модификаций выпускались на номинальное напряжение 220/380 В с шестью выводными концами, схема соединения обмотки — Д/У.

Средний расчетный срок службы АД составлял не менее 40 000 ч для всех активных частей, не менее 20 000 ч для обмотки статора и не менее 10 000 ч для подшипников. Вероятность безотказной работы АД за срок службы 10 000 ч составляет не менее 0,9 при доверительной вероятности 0,8.

Технические данные АД для гражданского морского и речного флота указаны в табл. 9.68.

Таблица 9.68. Технические данные двигателей серии АО2 (исполнения ОМ)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$	Момент инерции, кг·м ²	Масса двигателя исполнения ИМ1081, кг
Синхронная частота вращения 3000 об/мин										
АО2-51-2ОМ2	10	2,6	88	0,89	2,2	1,5	1	7	0,038	96
АО2-52-2ОМ2	13	2,6	88	0,89	2,2	1,5	1	7	0,045	110
АО2-62-2ОМ2	17	3	87,5	0,9	2,2	1,2	1	7	0,065	160
АО2-71-2ОМ2	22	2,1	87,5	0,9	2,2	1,1	1	7	0,115	195,9
АО2-72-2ОМ2	30	2	88,5	0,9	2,2	1,1	1	7	0,138	221,9
АО2-81-2ОМ2	40	2,6	88,5	0,91	2,2	1	1	7	0,275	328
АО2-82-2ОМ2	55	2,6	89,5	0,92	2,2	1	1	7	0,325	370
АО2-92-2ОМ5	75	1,8	90,5	0,94	2,2	1	1	7	0,75	640
АО2-92-2ОМ5	90	1,8	91	0,92	2,2	1	1	7,5	0,875	6,75
Синхронная частота вращения 1500 об/мин										
АО2-51-4ОМ2	7,5	2,7	88,5	0,87	2	1,4	1	7	0,058	92
АО2-52-4ОМ2	10	2,7	88,5	0,87	2	1,4	1	7	0,07	106
АО2-61-4ОМ2	13	3,3	88	0,89	2	1,3	1	7	0,1	150
АО2-62-4ОМ2	17	3,3	88,5	0,89	2	1,3	1	7	0,12	168
АО2-71-4ОМ2	22	2,55	89,5	0,9	2	1,2	1	7	0,25	211,4
АО2-72-4ОМ2	30	2,55	90,5	0,91	2	1,2	1	7	0,3	239,9
АО2-81-4ОМ2	40	2,6	91	0,91	2	1,1	1	7	0,525	333
АО2-82-4ОМ2	50	2,6	92	0,91	2	1,1	1	7	0,675	392
АО2-92-4ОМ5	75	2	93	0,93	2	1,1	1	7	1,6	640
Синхронная частота вращения 1000 об/мин										
АО2-51-6ОМ2	5,5	2,8	85,5	0,81	1,8	1,3	1	6,5	0,083	90
АО2-51-6ОМ2	7,5	2,8	87	0,82	1,8	1,3	1	6,5	0,11	110
АО2-61-6ОМ2	10	3,6	87,5	0,89	1,8	1,2	1	7	0,18	145
АО2-62-6ОМ2	13	3,6	87,5	0,89	1,8	1,2	1	7	0,228	168
АО2-71-4ОМ2	22	2,55	89,5	0,9	2	1,2	1	7	0,25	211,4
АО2-72-4ОМ2	30	2,55	90,5	0,91	2	1,2	1	7	0,3	239,9
АО2-81-4ОМ2	40	2,6	91	0,91	2	1,1	1	7	0,525	333
АО2-82-4ОМ2	50	2,6	92	0,91	2	1,1	1	7	0,675	392
АО2-92-4ОМ5	75	2	93	0,93	2	1,1	1	7	1,6	640
Синхронная частота вращения 1000 об/мин										
АО2-51-6ОМ2	5,5	2,8	85,5	0,81	1,8	1,3	1	6,5	0,082	90
АО2-52-6ОМ2	7,5	2,8	87	0,82	1,8	1,3	1	6,5	0,11	110
АО2-61-6ОМ2	10	3,6	87,5	0,89	1,8	1,2	1	7	0,18	145
АО2-62-6ОМ2	13	3,6	87,5	0,89	1,8	1,2	1	7	0,228	168
АО2-71-6ОМ2	17	2,3	89,5	0,9	1,8	1,2	1	7	0,4	205,4
АО2-72-6ОМ2	22	2,2	89,5	0,9	1,8	1,2	1	7	0,5	232
АО2-81-6ОМ2	30	2,6	90,5	0,91	1,8	1,1	1	7	0,9	322
АО2-82-6ОМ2	40	2,6	91	0,91	1,8	1,1	1	7	1,18	382
АО2-92-6ОМ2	55	2	92	0,93	1,8	1,1	1	7	2,75	640
Синхронная частота вращения 750 об/мин										
АО2-51-8ОМ2	4	2,8	84	0,71	1,7	1,2	1	6	0,083	90
АО2-52-8ОМ2	5,5	2,8	85	0,72	1,7	1,2	1	6	0,11	110
АО2-61-8ОМ2	7,5	3,6	86	0,81	1,7	1,2	1	6	0,18	145
АО2-62-8ОМ2	10	3,6	87	0,81	1,7	1,2	1	7	0,228	168
АО2-71-8ОМ2	13	2,3	88,5	0,83	1,7	1,1	1	7	0,4	206
АО2-72-8ОМ2	17	2,2	89	0,83	1,7	1,1	1	7	0,25	230,9

Продолжение табл. 9.68

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	cosφ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{II}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{II}}{I_{ном}}$	Момент инерции, кг·м ²	Масса двигателя исполнения ИМ1081, кг
АО2-81-8ОМ2	22	2,6	90	0,84	1,7	1,1	1	7	0,09	318
АО2-82-8ОМ2	30	2,6	90,5	0,88	1,7	1,1	1	7	1,175	379
АО2-92-8ОМ5	40	2	91,5	0,89	1,7	1,1	1	7	2,75	640

Синхронная частота вращения 600 об/мин

АО2-91-10ОМ5	22	3,3	89	0,78	1,7	1,1	1	6,5	1,95	540
АО2-92-10ОМ5	30	2,5	89,5	0,78	1,7	1,1	1	6,5	2,4	640

Двигатели с повышенным пусковым моментом

АОП2-91-4ОМ5	55	3,3	92	0,89	2,2	1,8	1,5	7,5	1,225	540
АОП2-92-4ОМ5	75	1,67	93	0,89	2,2	1,8	1,5	7,5	1,6	640
АОП2-91-6ОМ5	40	3	91	0,89	2,2	1,8	1,5	7,5	2,15	540
АОП2-92-6ОМ5	55	2,5	92	0,89	2,2	1,8	1,5	7,5	2,75	640
АОП2-91-8ОМ5	30	2,68	91,5	0,84	2,2	1,7	1,4	7,5	2,15	540
АОП2-92-8ОМ5	40	2	92	0,85	2,2	1,7	1,4	7,5	2,75	640

Двигатели с повышенным скольжением

АОС2-91-4ОМ5	47	6,6	87	0,93	2,3	2,2	1,8	8	1,225	540
АОС2-92-4ОМ5	61	7,3	86	0,92	2,3	2,2	1,8	6	1,6	640
АОС2-91-6ОМ5	40	7	86	0,93	2,6	1,8	1,5	7	2,15	540
АОС2-92-6ОМ5	55	7	87	0,91	2,5	1,8	1,5	7	2,75	640
АОС2-91-8ОМ5	33	10	83	0,9	2,6	1,6	1,4	7	2,15	540
АОС2-92-8ОМ5	39	8	82	0,87	2	1,7	1,4	7	2,75	640

Основные габаритные, установочные и присоединительные размеры — такие же, как АД 5—9-го габаритов основного исполнения серии АО2 соответствующих конструктивных исполнений.

Двигатели выпускались в соответствии с требованиями ТУ 16-515.041-75, ТУ 16-513.302-77.

9.10. Асинхронные двигатели большой мощности

9.10.1. Асинхронные турбодвигатели серии АТД4

Серия АТД4 охватывает диапазон мощностей от 500 до 8000 кВт. Номинальное напряжение АД основного исполнения (табл. 9.69) — 6 кВ.

В АД применены: низконапорная система охлаждения с многоструйной продувкой зубцовой зоны статора; усовершенствованная терморезистивная система изоляции «монолит-4» с бесклиновым креплением обмотки в пазах сердечника статора класса нагретостойкости F с использованием в зави-

симости от исполнения АД по классу В или F; литая алюминиевая клетка ротора в АД мощностью до 1000 кВт включительно; безбандажное исполнение роторов АД мощностью до 6300 кВт.

В зависимости от динамического момента инерции механизма АД допускают в течение службы до 10000 пусков. Допустимые значения моментов инерции механизмов для 3000 и 10000 пусков приведены в табл. 9.70.

Двигатели серии АТД4 выполнены в шести габаритах по внешнему диаметру сердечника статора (табл. 9.71).

Габаритные, установочные и присоединительные размеры АД серии АТД4 приведены в табл. 9.72.

Двигатели серии АТД4 имеют горизонтальное исполнение и щитовые подшипники скольжения.

Сердечник статора прикреплен к торцевым щитам, выполняющим одновременно роль опор АД. На щитах консольно крепят подшипники. Сердечник статора закрывают кожухом. На кожух и торцевые щиты сверху устанавливают водовоздушный охладитель. Подшипники АД мощностью до 1000 кВт выполнены с автономной кольцевой смаз-

Таблица 9.69. Технические данные двигателей серии АД4
($U = 6000$ В)

Мощность, кВт	Ток статора, А	КПД, %	cosφ	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{I_n}{I_{ном}}$	Масса, кг
500	56,5	95,7	0,89	0,9	5,1	1930
630	72	95,7	0,88	1	5,3	2660
800	90	96	0,89	1	5,3	2820
1000	112,5	96,1	0,89	1	5,3	3030
1250	140	96,4	0,89	0,95	5,5	3970
1600	179	96,6	0,89	0,9	5,2	4270
2000	226	96,7	0,88	0,77	4,7	5560
2500	279	97	0,89	0,85	5	6160
3150	346	97,2	0,9	0,9	5,3	7010
4000	444	97,3	0,89	0,9	5,7	10 100
5000	548	97,5	0,9	0,9	5,7	11 000
6300	690	97,6	0,9	0,95	5,9	12 300
8000	876	97,6	0,9	0,95	6	12 320

Таблица 9.70. Допустимые значения момента инерции механизма, кг·м²

Допустимое число пусков	Мощность, кВт												
	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
3000	40	72	80	90	190	210	200	235	275	330	380	—	—
10 000	16	35	40	45	70	75	85	100	120	160	180	210*	400*

* Допускается 7500 пусков.

Таблица 9.71. Изменение мощности, кВт, двигателей АД4 в зависимости от внешнего диаметра сердечника статора

Внешний диаметр сердечника статора, мм					
590	660	740	860	990	1140
500	630, 800, 1000	1250, 1600	2000, 2500, 3150	4000, 5000, 6300	8000

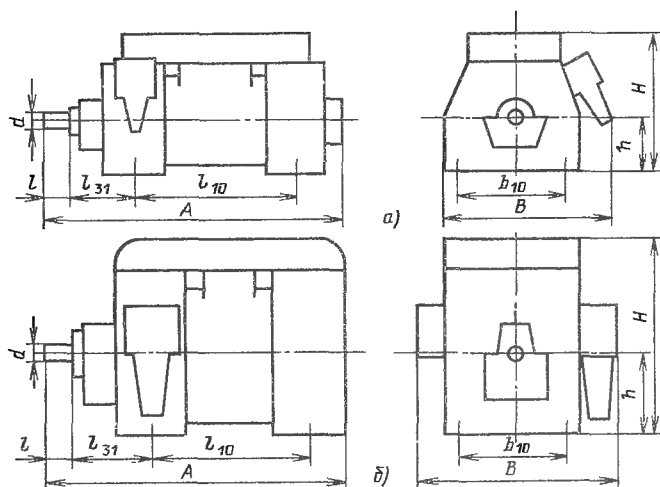
кой, а мощностью 1250 кВт и выше — с принудительной смазкой под давлением. Обмотка ротора — короткозамкнутая, в АД мощностью 500—1000 кВт — литая алюминиевая, мощностью 1250—8000 кВт — из медных стержней профильного сечения, впаиваемых в короткозамыкающие медные кольца. Система охлаждения — симметричная радиально-тангенциальная с продувкой зубцовых зон статора по параллельным целевым радиальным каналам. Охлаждение роторов — с поверхности сердечника (до мощности 1000 кВт) и через аксиальные каналы, образованные расширением пазов (для мощности 1250 кВт и выше).

Кроме базового исполнения АД с замкнутой системой вентиляции на напряжение сети 6000 В предусмотрены модификации с разомкнутой системой вентиляции; взрывозащищенные с заполнением или продувкой оболочки под избыточным давлением, на напряжение питающей сети 10 000 В.

9.10.2. Асинхронные двигатели серий А4, АК4, ДАЗ04

Двигатели с короткозамкнутым ротором серий А4 и ДАЗ04 предназначены для привода механизмов, не требующих регулирования частоты вращения (насосы, венти-

Таблица 9.72. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии АД4



Мощность, кВт	Рисунки	Установочные и присоединительные размеры, мм						Габаритные размеры, мм		
		h	d	l	l_{31}	l_{10}	b_{10}	A	B	H
500 630	а	355	70 80	140	280	900 1000	630	1755 1890	1100	1050
800 1000		400	90	170		1120 1250	710	1965 2065	1210	1215
1250 1600		500	100	210	500	1120 1250	850	2500 2595	1510	1360
2000 2500 3150	б	560	120	210		1250 1400 1600	1000	2560 2690 2920	1635	1600
4000 5000		710	140	250	600	1600 1800	1250	3000 3160	2000	2000
6300 8000		800	160 180	300 300		2000 2000	1400	3410 3360	2250	2120

торы, дымососы и др.). Двигатели с фазным ротором серии АК4 предназначены для привода механизмов, требующих регулирования частоты вращения, а также механизмов с тяжелыми условиями пуска. Двигатели А4 и АК4 имеют защищенное исполнение (степень защиты IP23) и предназначены для работы в закрытых помещениях с нормальной окружающей средой при температуре +40°C; АД серии ДАЗ04 имеют закрытое обдуваемое исполнение (степень защиты IP44) и предназначены для работы на открытом воздухе и в помещениях с повышенной влажностью и запыленностью при температуре окружающей среды от +40 до -40°C.

Серия охватывает диапазон мощностей от 200 до 1000 кВт, частот вращения от 500 до 1500 об/мин. Основные технические данные АД напряжением 6 кВ приведены в табл. 9.73—9.75.

Конструкция двигателя выполнена таким образом (рис. 9.16), что обмотка, магнитопровод и вентиляционные элементы внутреннего тракта полностью идентичны АД серий А4 и ДАЗ04, при этом мощность АД серии ДАЗ04 снижается на одну ступень. Переход от защищенного исполнения АД серии А4 к обдуваемой серии ДАЗ04 осуществляется путем замены вентиляционного кожуха машин серии А4 на трубчатый охла-

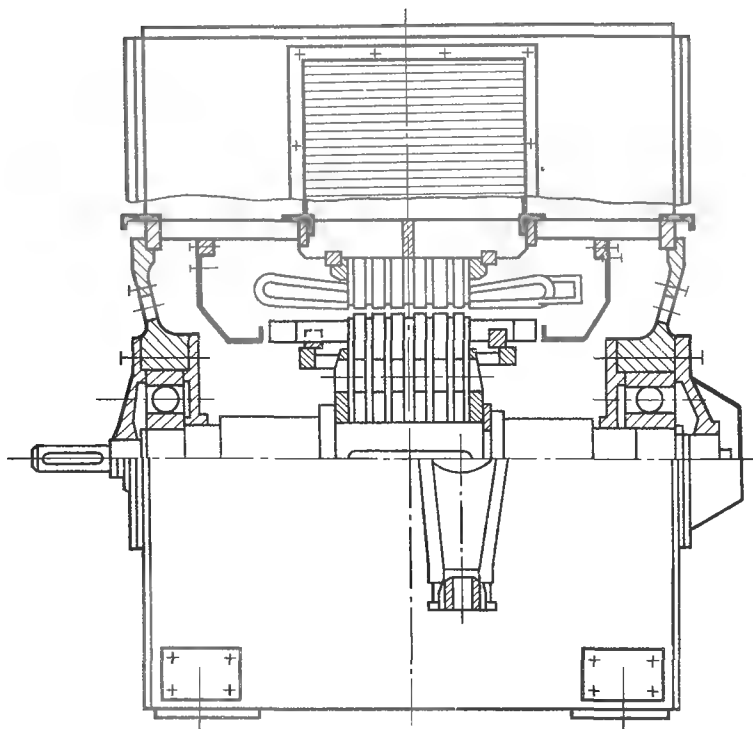


Рис. 9.16. Асинхронный двигатель серии А4

Таблица 9.73. Технические данные двигателей серии А4 напряжением 6000 В

Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Скольжение, %	Ток статора, А	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$	Момент инерции, кг·м ²	
									ротора	допустимый механизма
400	1500	1,3	47	94,2	0,87	2,3	1	5,7	10	170
500	1500	1,3	58	94,7	0,88	2,3	1	5,7	11	230
630	1500	1,3	72,5	95,1	0,88	2,3	1,2	5,7	13	280
800	1500	1,2	92	95,2	0,88	2	1	5,5	21	300
1000	1500	1,2	113	95,5	0,89	2,1	1	5,7	25	350
315	1000	1,3	38	93,6	0,85	2	1	5,3	15	300
400	1000	1,3	47,5	94	0,86	2	1	5,3	18	350
500	1000	1,5	59,5	94,4	0,86	1,9	1	5,3	21	600
630	1000	1,4	74,5	94,7	0,86	1,9	1	5,3	32	700
800	1000	1,4	94,5	95	0,86	1,9	1	5,3	38	850
250	750	1,5	32	93	0,81	1,9	1	5,2	19	500
315	750	1,5	39,5	93,4	0,82	1,9	1	5	22	600
400	750	1,4	50	93,8	0,82	1,9	1	4,8	36	800
500	750	1,4	61,5	94,2	0,83	1,8	1	4,8	42	1300
630	750	1,4	77,5	94,5	0,83	1,9	1	4,8	49	1500
200	600	2,2	27,5	92,0	0,76	1,9	1	4,8	19	500
250	600	2,2	34	92,5	0,77	1,9	1	4,8	22	800
315	600	2,2	40	93	0,82	1,9	1	4,8	37	1200
400	600	2,2	50	93,4	0,82	1,8	1	4,8	42	1500
250	500	2,2	34,5	92,2	0,76	1,8	1	4,8	40	1900
315	500	2,2	42,5	92,7	0,77	1,8	1	4,8	45	2500

Таблица 9.74. Технические данные двигателей серии АК4 напряжением 6000 В

Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Скольжение, %	Ток статора, А	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Ток ротора, А	Напряжение ротора, В	Момент инерции ротора, кг·м ²
400	1500	2	47	93,5	0,88	2	490	505	13
500	1500	2	58	94	0,87	2	530	590	16
630	1500	1,8	72	94,5	0,89	2	540	710	19
800	1500	1,8	91	94,6	0,89	2	690	710	26
1000	1500	1,5	112	95	0,9	2	690	890	32
315	1000	2	38,5	92,9	0,85	1,9	395	495	19
400	1000	2	48	93,2	0,86	2	430	575	22
500	1000	2	59	93,5	0,87	2	455	680	25
630	1000	2	74	93,4	0,87	2	570	680	39
800	1000	1,8	94	94,3	0,87	2	590	830	46
250	750	2,2	32	92,5	0,82	2,1	325	480	22
315	750	2,2	39,5	92,8	0,83	2	355	550	25
400	750	2	49,5	93,2	0,83	1,9	450	550	43
500	750	2	61	93,6	0,84	1,9	480	645	49
630	750	2	76,5	94	0,84	1,9	500	775	57
200	600	3	27	91,1	0,78	1,8	315	405	22
250	600	3,2	33	91,5	0,79	1,8	345	455	25
315	600	2,5	39,5	92,2	0,83	1,8	360	550	43
400	600	2,5	50	92,5	0,83	1,8	390	640	49
250	500	2,5	34	91,2	0,77	1,8	305	520	46
315	500	2,5	43	91,6	0,77	1,8	330	600	51

Таблица 9.75. Технические данные двигателей серии ДАЗ04 напряжением 6000 В

Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Скольжение, %	Ток статора, А	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$	Момент инерции, кг·м ²	
									ротора	допустимый механизма
315	1500	1,1	38	93,7	0,86	2,8	1,3	7	11	170
400	1500	1,1	47	94,2	0,87	2,8	1,3	7	12	230
500	1500	1,1	58,5	94,7	0,87	2,8	1,5	7	14	280
630	1500	1	74	94,7	0,87	2,5	1,2	7	22	300
800	1500	1	92	95	0,88	2,6	1,3	7	26	350
250	1000	1,2	31	93,2	0,83	2,5	1,3	6,5	16	300
315	1000	1,2	38	93,9	0,85	2,5	1,3	6,5	19	350
400	1000	1,2	48	94,2	0,85	2,5	1,3	6,5	22	600
500	1000	1,1	60	94,4	0,85	2,4	1,3	6,5	33	750
630	1000	1,1	75	94,7	0,85	2,4	1,3	6,5	39	850
200	750	1,1	27	92,5	0,77	2,3	1,2	6	20	500
250	750	1,2	32,5	93	0,79	2,4	1,2	6	23	600
315	750	1,3	40,5	93,4	0,8	2,4	1,2	6	37	800
400	750	1,3	50,5	93,8	0,81	2,3	1,2	6	43	1300
500	750	1,3	62	94,2	0,82	2,3	1,2	6	50	1500
200	600	1,5	28	92	0,74	2,3	1,3	6	23	800
250	600	1,6	33	92,5	0,78	2,3	1,3	6	38	1200
315	600	1,7	41	93	0,8	2,3	1,3	6	43	1500
200	500	1,5	28	91,7	0,75	2,3	1,3	5,5	41	1900
250	500	1,6	35	92,2	0,75	2,3	1,3	5,5	46	2500

дитель в серии ДАЗ04, который устанавливают сверху на станину, дополнительно также устанавливают вентилятор и кожух внешнего цикла вентиляции.

В двигателях серии А4, АК4, ДАЗ04 применена изоляция обмотки статора типа «моноклит-2». Катунки изолируют непропитанной слюдинитовой лентой и укладывают в статор. Обмотанный статор погружают в котел и пропитывают вакуум-нагнетательным методом в эпоксидном компаунде, после чего запекают в печи.

Короткозамкнутую обмотку ротора АД серии А4, ДАЗ04 выполняют сварной из прямоугольных алюминиевых стержней и алюминиевых короткозамкнутых колец. В АД серии АК4 с фазным ротором в качестве обмоточного провода ротора используют медную шину, фазный ротор имеет полузакрытые пазы. Обмотка ротора — двухслойная стержневая волновая.

Сердечник статора запрессован в станине между двумя нажимными шайбами и закреплен с помощью упорных шпонок и сварных швов. Пазы статора открытые.

Сердечник ротора запрессован между двумя нажимными шайбами и закреплен призматической и кольцевой шпонками. Сердечники роторов имеют радиальные (аналогичные статору) и аксиальные вентиляционные каналы. В 10- и 12-полосных АД с высотой оси вращения 450 мм аксиальные каналы образованы ребрами в сварных валах, в остальных АД вентиляционные отверстия выполнены в листах сердечника и нажимных шайбах.

Подшипниковые щиты выполнены литыми из чугуна. Двигатели имеют однорядные подшипники качения. Со стороны рабочего конца вала установлен роликовый подшипник, с противоположной стороны — шариковый. Смазка подшипников консистентная.

Коробка выводов статора — штампованная из тонколистовой стали, разъемная и допускает как сухую разделку, так и заливку компаундной массой концов подводимого силового кабеля.

Контактные кольца в АД серии АК4 — подвесного типа, расположены за подшипниковым щитом и закрыты кожухом. Рекомендуется применение щеток марки МГСО. Траверсы для крепления щеткодержателей стальные. Кожух контактных колец сварной штампованный с решетками для циркуляции охлаждающего воздуха.

Схема вентиляции АД согласная радиальная. В АД серий А4, АК4 забор воздуха осуществляется через окна в торцах вентиля-

ционного кожуха, а выброс — через боковые окна кожуха. В АД серии ДАЗ04 вентиляция разделяется на внутреннюю и внешнюю. Внутренняя система вентиляции идентична системам, принятым в АД серий А4, АК4, при этом циркуляция воздуха осуществляется по замкнутому циклу. Нагретый воздух охлаждается, проходя между трубками воздухоохладителя. Воздух во внешнюю систему забирается из окружающей среды с помощью внешнего вентилятора, проходит по трубкам воздухоохладителя и выбрасывается в окружающую среду.

Пуск АД с короткозамкнутым ротором прямой, обеспечивается при номинальном напряжении сети и при снижении напряжения сети за время пуска до $0,8U_{ном}$.

Предельно допустимые значения момента инерции, определенные из условий двух пусков с интервалом 5 мин из холодного состояния или одного пуска из горячего состояния при номинальном напряжении и среднем моменте статических сопротивлений за время пуска, равно $0,3M_{ном}$, должны соответствовать приведенным в табл. 9.73—9.75. Для этих условий интервал между последующими пусками — не менее 3 ч. Количество пусков — не менее 2000 за период эксплуатации, но не более 250 в год. При среднем моменте статических сопротивлений за время пуска, равно $0,3M_{ном}$, и моменте инерции механизма, не превышающем 10% значения предельно допустимого значения момента инерции, допустимое количество пусков в год составляет не менее 500 при общем числе пусков за время эксплуатации, равно 10000.

Двигатели с фазным ротором пускаются от полного напряжения сети, при этом в цепь ротора включается пусковой реостат.

Габаритные и установочные размеры АД приведены в табл. 9.76, 9.77.

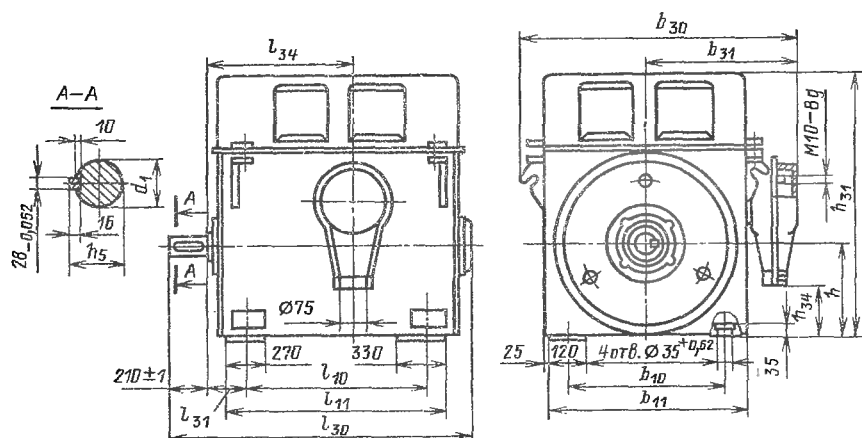
Имеются модификации АД серий А4, АК4, ДАЗ04 на напряжение 10 кВ (табл. 9.78).

9.10.3. Асинхронные двигатели типа АДО

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором типа АДО выпускаются мощностью 1250—3150 кВт (табл. 9.79) на напряжение 6000 В.

Двигатели типа АДО выполнены на щитовых подшипниках скольжения. Смазка подшипников автономная; кольцевая для АД мощностью 1250 кВт и принудительная под избыточным давлением для АД большей мощности.

Таблица 9.76. Габаритные, установочные, присоединительные размеры и масса двигателей серии А4



Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Размеры, мм														Масса, кг
		b_{10}	b_{11}	b_{30}	b_{31}	d_1	l_{10}	l_{11}	l_{30}	l_{31}	l_{34}	h	h_5	h_{31}	h_{34}	
400	1500	800	940	1320	710	100	900	1140	1550	200	740	400	106	1300	100	1930
500	1500	800	940	1320	710	100	900	1140	1550	200	740	400	106	1300	100	2070
630	1500	800	940	1320	710	100	1000	1240	1650	200	840	400	106	1300	100	2290
315	1000	800	940	1320	710	100	900	1140	1550	200	740	400	106	1300	100	1960
400	1000	800	940	1320	710	100	900	1140	1550	200	740	400	106	1300	100	2110
500	1000	800	940	1320	710	100	1000	1240	1650	200	840	400	106	1300	100	2320
250	750	800	940	1320	710	100	900	1140	1550	200	740	400	106	1300	100	2080
315	750	800	940	1320	710	100	1000	1240	1650	200	840	400	106	1300	100	2280
200	600	800	940	1320	710	100	900	1140	1550	200	740	400	106	1300	100	2050
250	600	800	940	1320	710	100	1000	1240	1650	200	840	450	106	1300	100	2250
800	1500	900	1040	1420	760	110	900	1190	1600	224	790	450	116	1410	205	2580
1000	1500	900	1040	1420	760	110	1000	1290	1700	224	890	450	116	1410	205	2890
630	1000	900	1040	1420	760	110	900	1190	1700	224	790	450	116	1410	205	2620
800	1000	900	1040	1420	760	110	1000	1290	1700	224	890	450	116	1410	205	2940
400	750	900	1040	1420	760	110	900	1190	1700	224	790	450	116	1410	205	2540
500	750	900	1040	1420	760	110	1000	1290	1700	224	890	450	116	1410	205	2790
630	750	900	1040	1420	760	110	1000	1290	1700	224	890	450	116	1410	205	3070
315	600	900	1040	1420	760	110	900	1190	1700	224	790	450	116	1410	205	2450
400	600	900	1040	1420	760	110	1000	1290	1700	224	890	450	116	1410	205	2690
250	500	900	1040	1420	760	110	900	1190	1700	224	790	450	116	1410	205	2570
315	500	900	1040	1420	760	110	1000	1290	1700	224	890	450	116	1410	205	2790

Изоляция обмотки статора — на термо-реактивных связующих. Обмотка ротора короткозамкнутая, стержни обмотки ротора имеют профильное сечение, они впаяются в медные короткозамкнутые кольца.

Предусмотрен прямой пуск при напряжении сети не ниже 0,8 номинального. Допускаются два пуска подряд из холодного состояния или один пуск после продолжительной работы АД под нагрузкой. Последующие пуски допускаются через 3 ч. Двига-

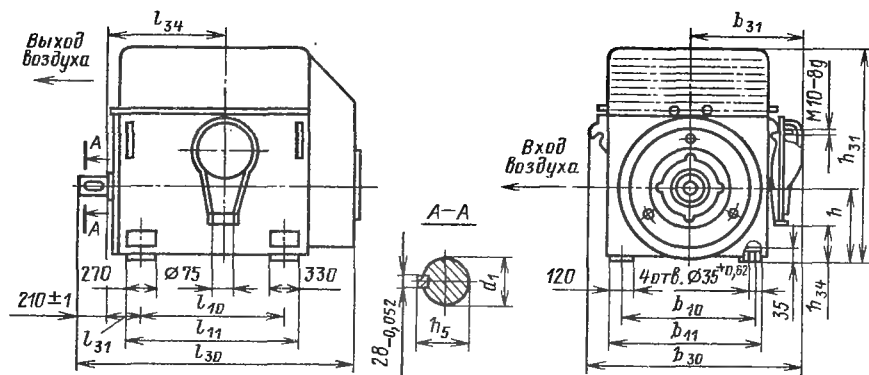
тели допускают пуск механизмов с моментом инерции до $7500 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Основные размеры АД типа АДО приведены в табл. 9.80.

9.10.4. Асинхронные двигатели типа ВАКЗ

Двигатели вертикального исполнения ВАКЗ предназначены для привода главных циркуляционных насосов АЭС. Для обеспече-

Таблица 9.77. Габаритные, установочные, присоединительные размеры и масса двигателей серии ДА304



Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Размеры, мм														Масса, кг
		b ₁₀	b ₁₁	b ₃₀	b ₃₁	d ₁	l ₁₀	l ₁₁	l ₃₀	l ₃₁	l ₃₄	h	h ₅	h ₃₁	h ₃₄	
315	1500	800	940	1320	710	100	900	1150	1775	202	740	400	106	1270	100	2190
400	1500	800	940	1320	710	100	900	1150	1775	202	740	400	106	1270	100	2330
500	1500	800	940	1320	710	100	1000	1240	1875	202	840	400	106	1335	100	2630
630	1500	900	1040	1420	760	110	900	1190	1855	224	790	450	116	1415	205	2900
800	1500	900	1040	1420	760	110	1000	1290	1955	224	890	450	116	1480	205	3300
250	1000	800	940	1320	710	100	900	1140	1775	200	740	400	106	1270	100	2220
325	1000	800	940	1320	710	100	900	1140	1775	200	740	400	106	1270	100	2380
400	1000	800	940	1320	710	100	1000	1240	1875	200	840	400	106	1335	100	2650
500	1000	900	1040	1420	760	110	900	1190	1855	224	790	450	116	1415	205	2950
630	1000	900	1040	1420	760	110	1000	1290	1955	224	890	450	116	1415	205	3350
200	750	800	940	1320	710	100	900	1140	1775	200	740	400	106	1270	100	2340
250	750	800	940	1320	710	100	1000	1240	1875	200	840	400	106	1335	100	2610
315	750	900	1040	1420	760	110	900	1190	1855	224	790	450	116	1415	205	2870
400	750	900	1040	1420	760	110	1000	1290	1955	224	890	450	116	1480	205	3200
500	750	900	1040	1420	760	110	1000	1290	1955	224	890	450	116	1480	205	3470
200	600	800	940	1320	710	100	1000	1240	1875	200	840	400	106	1335	100	2590
250	600	900	1040	1420	760	110	900	1190	1855	224	790	450	116	1415	205	2770
315	600	900	1040	1420	760	110	1000	1290	1700	224	890	450	116	1415	205	2890
200	500	900	1040	1420	760	110	900	1190	1600	224	790	450	116	1415	205	2570
250	500	900	1040	1420	760	110	1000	1290	1700	224	890	450	116	1415	205	2790

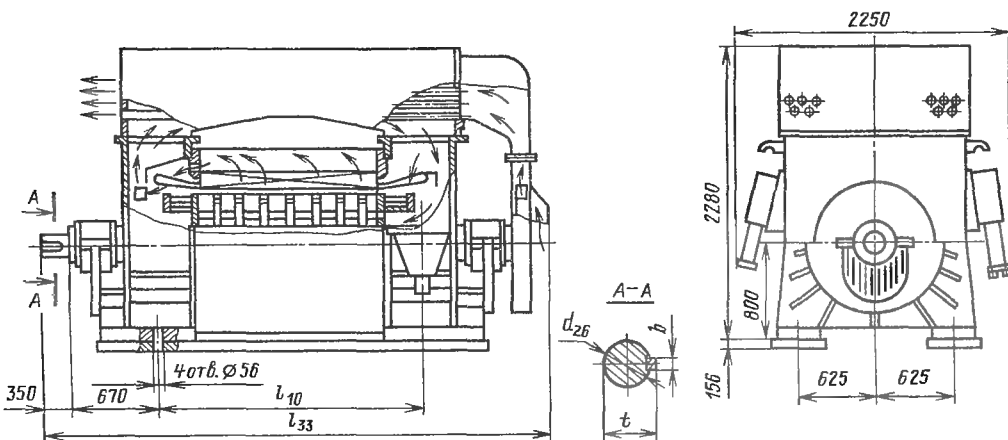
Таблица 9.78. Двигатели серий А4, АК4, ДА304 на напряжение 10 кВ

Серия двигателя	Синхронная частота вращения, об/мин		
	750	1000	1500
	Мощность, кВт		
А4, АК4 ДА304	500	500, 630	630, 800
	500	400, 500	500, 630

Таблица 9.79. Технические данные двигателей АДО

Мощность, кВт	Ток статора, А	Синхронная частота вращения, об/мин	Скольжение, %	КПД, %	cos φ	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{I_p}{I_{ном}}$	$\frac{M_p}{M_{ном}}$	Момент инерции ротора, кг·м²
1250	168,1	600	0,5	95,4	0,75	2,5	6	1,3	625
1600	194,7	750	0,6	95,3	0,83	2,1	5,5	0,8	550
2500	285,7	1000	0,55	95,7	0,88	2,3	5,7	0,8	572,5
3150	354,8	1000	0,45	96	0,89	2,5	6,5	1	749,5

Таблица 9.80. Основные размеры и масса двигателей типа АДО



Мощность, кВт	Размеры, мм					Масса, кг
	d_{26}	b	t	l_{10}	l_{33}	
1250	200	45	210	1400	3700	14 300
1600	200	45	210	1400	3650	13 740
2500	200	45	210	1400	3700	14 320
3150	220	50	237	1800	4050	17 370

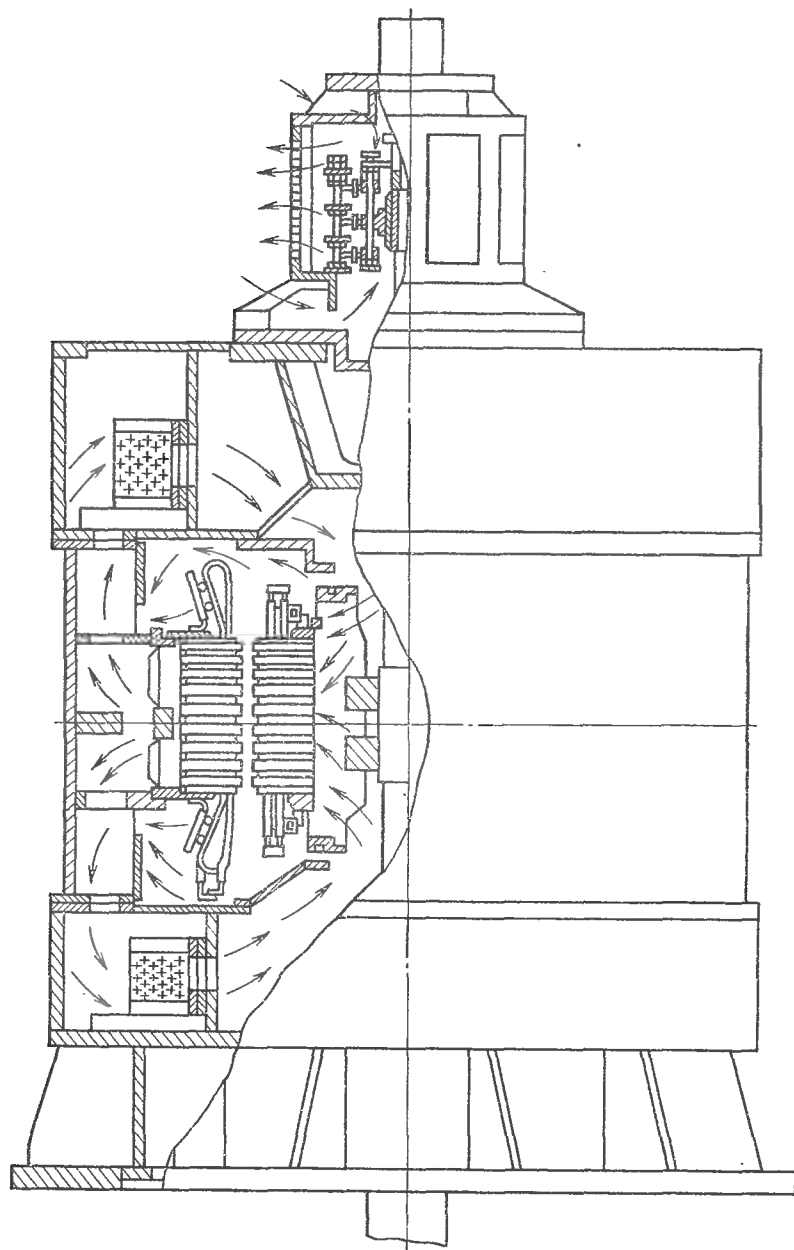


Рис. 9.17. Асинхронный вертикальный двигатель типа ВАКЗ

ния эксплуатационных режимов электропривод с АД ВАКЗ выполнен с регулировкой частоты вращения 1:10.

Технические данные двигателей ВАКЗ

ВАКЗ 16-64-6 ВАКЗ 15-51-6

Мощность, кВт	3400	1600
Напряжение, кВ	6	6
Ток статора, А	374	185
Частота сети, Гц	50	50
Диапазон регулирования частоты вращения, об/мин	100—990	250—990
Напряжение на кольцах ротора, В	1630	780
Ток ротора, А	1280	1260
Соединение обмотки ротора	Д	Д
Момент инерции ротора с маховиком, кг·м ²	1700	1400
КПД, %	95	94,8
Коэффициент мощности	0,915	0,88
Кратность максимального момента	2,6	2,4

Двигатели устанавливают в помещении с ограниченным доступом персонала.

Двигатели типа ВАКЗ выполнены в подвесном исполнении с двумя направляющими подшипниками и подпятником с самовентиляцией по замкнутому циклу. Соединение валов АД типа ВАКЗ и насоса выполняется посредством эластичной муфты, не передающей осевую нагрузку от насоса к АД. Для обеспечения повышенного момента инерции в нижней части АД устанавливают маховики.

Вентиляцию АД выполняют по замкнутому циклу с применением водяных трубчатых охладителей, встроены в верхнюю и нижнюю крестовины (рис. 9.17). Система вентиляции радиальная, симметричная, с входом охлаждающего воздуха сверху и снизу АД. Циркуляция воздуха осуществляется за счет самовентилирующего действия ротора. Контактные кольца находятся вне замкнутого контура машины и охлаждаются окружающим воздухом.

Подпятник и направляющие подшипники выполнены сегментными, самоустанавливающимися, с баббитовой поверхностью трения и размещены в масляных ваннах верхней грузонесущей и нижней опорной крестовин. Сегменты подпятника установлены на регулируемые по высоте винтовые опоры со сферической головкой.

Смазка выполняется автономной, с постоянным объемом масла в масляных ваннах. Внутри масляных ванн циркуляция масла осуществляется за счет напорного действия радиальных отверстий во втулках подпятника и направляющего подшипника. Для охлаждения масла в ванны встроены маслоохладители из U-образных трубок, внутри которых циркулирует охлаждающая вода.

Во избежание попадания масла на крышку насоса в нижней части крестовины АД предусмотрены дренажные камеры.

Трехфазный токоподвод к обмотке ротора размещается в центральном отверстии вала. Каждая фаза обмотки ротора соединяется с токоподводом тремя изолированными шпильками через радиальные отверстия в валу, а с контактным кольцом — шиной через изолированные шпильки.

Обмотка ротора АД типа ВАКЗ выполнена двухслойной волновой и уложена в полузакрытый паз. Лобовые части обмотки ротора бандажируют с помощью немагнитной стальной проволоки.

Пуск АД осуществляется от системы асинхронно-вентильного каскада на минимальную частоту вращения при пониженном до 3 кВ напряжении на статоре.

При частоте вращения 960 об/мин допускается работа АД с замкнутым накоротко ротором при максимальных моментах сопротивления насосов.

Двигатели типа ВАКЗ допускают самозапуск агрегата после перерыва питания до 1,2 с при напряжении 0,6—1,0U_{ном}.

9.10.5. Вертикальные асинхронные двигатели серии ВАН

Двигатели серии ВАН (табл. 9.81) изготавливаются в вертикальном подвесном исполнении с подпятником, расположенным в верхней крестовине, двумя направляющими подшипниками в верхней и нижней крестовинах и с фланцевым концом вала для присоединения к насосу. Вентиляция выполняется по разомкнутому циклу. Холодный воздух поступает из окружающей среды сверху через отверстия в верхней крестовине и снизу из фундаментной ямы. Напор воздуха создается вращающимся ротором и прикрепленным к остову ротора центробежными вентиляторами. Нагретый воздух выводится через круглые отверстия в корпусе статора. Пуск АД прямой от полного напряжения сети. Угловая частота вращения $n_y = 1,3n_{ном}$ допускается длительностью не более 5 мин.

В допускаемую нагрузку на подшипник входят нагрузки от силы тяжести ротора АД и колеса насоса и реакции воды.

Сердечники роторов АД серии ВАН состоят из пакетов электротехнической стали, разделенных радиальными вентиляционными каналами шириной по 10 мм. В АД 14-го

и частично 15-го габаритов каждый пакет собирается из штампованных цельных листов стали. В остальных АД серии пакеты сердечника ротора собираются из штампованных сегментов. Пакеты электротехнической стали стянуты в монолитный сердечник двумя нажимными стальными кольцами, закреп-

Таблица 9.81. Технические данные асинхронных вертикальных электродвигателей серии ВАН 14—17-го габаритов

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Ток, А	Частота вращения, об/мин	cosφ	КПД, %	$\frac{I_p}{I_{ном}}$	$\frac{M_p}{M_{ном}}$	Кратность максимального момента $\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Момент инерции ротора, кг·м²	Нагрузка на подшипник, МН
Синхронная частота вращения 1000 об/мин											
ВАН 14-39-6	800	6000	96	990	0,86	93,5	5,5	0,9	2,1	175	6,5
ВАН 14-49-6	1000	6000	122	992	0,84	94	6,5	1,2	2,5	225	7,5
ВАН 14-59-6	1250	6000	152	992	0,8	94,4	6,5	1,2	2,5	275	6,5
Синхронная частота вращения 750 об/мин											
ВАН 14-26-8	400	6000	51	738	0,83	91,8	5	0,8	2	125	9
ВАН 14-31-8	500	6000	61	738	0,85	92,2	5	0,82	2	150	9
ВАН 14-39-8	630	6000	77	738	0,85	92,6	5	0,84	2	175	9
ВАН 15-31-8	800	6000	96	740	0,86	93,1	5	0,7	2,2	225	16
ВАН 15-36-8	1000	6000	116	740	0,88	94,0	4,8	0,7	2,1	225	17
ВАН 16-31-8	1250	6000	145	741	0,89	93,4	4,8	0,65	2,1	650	24
ВАН 16-36-8	1600	6000	185	741	0,89	93,8	5	0,68	2,2	700	29
Синхронная частота вращения 600 об/мин											
ВАН 14-26-10	315	6000	44	590	0,76	91,2	5	0,9	2,2	140	7
ВАН 14-31-10	400	6000	52	590	0,80	91,6	4,8	0,9	2,1	160	7
ВАН 14-39-10	500	6000	63	590	0,82	92,3	4,5	0,8	2,1	205	7
ВАН 15-31-10	630	6000	79,5	592	0,82	92,6	5	1	2,4	225	10
ВАН 15-39-10	800	6000	99,5	592	0,83	93	5,3	1,1	2,6	325	17
ВАН 16-31-10	1000	6000	122	593	0,84	93,3	5,2	0,9	2,3	650	22
ВАН 16-36-10	1250	6000	152	593	0,85	93,8	5,4	0,85	2,3	700	25
ВАН 16-49-10	1600	6000	186	593	0,87	94,5	5,1	0,8	2,2	875	29
Синхронная частота вращения 500 об/мин											
ВАН 14-31-12	315	6000	47	491	0,72	91,1	4,2	0,9	1,9	190	16
ВАН 14-39-12	400	6000	55	491	0,76	91,5	4,3	1,1	1,9	205	1,35
ВАН 15-34-12	500	6000	66	493	0,79	92,3	4,6	1	2,3	300	16
ВАН 15-39-12	630	6000	84	493	0,79	92,5	4,8	1	2,4	325	18
ВАН 16-31-12	800	6000	104	495	0,8	92,6	5,7	0,85	2,6	725	20
ВАН 16-41-12	1000	6000	122	495	0,85	93	5,3	0,85	2,2	900	20
ВАН 16-49-12	1250	6000	152	495	0,85	93,3	5	0,75	2,2	1025	27
ВАН 17-31-12	1600	6000	187	495	0,88	93,8	4,7	0,6	2	1425	30
Синхронная частота вращения 375 об/мин											
ВАН 15-44-16	500	6000	74	370	0,71	91,8	4,3	1,1	2,3	400	9
ВАН 16-36-16	630	6000	86	370	0,77	92,6	4,2	0,74	1,9	875	15
ВАН 16-41-16	800	6000	110	370	0,75	92,9	4,3	0,8	2,1	900	20
ВАН 17-31-16	1000	6000	127	370	0,81	93	4,3	0,6	1,8	1325	25
ВАН 17-39-16	1250	6000	160	371	0,8	93,6	5,8	1	2,4	1800	25
ВАН 17-49-16	1600	6000	204	372	0,8	94,1	5,9	0,9	2,6	2525	31
ВАН 17-69-16	2500	6000	322	372	0,79	94,3	4,5	0,7	1,9	3250	34

ленными на осто́ве ротора малых машин шпонками, а больших — шпильками, пропущенными через отверстия в сегментах.

Обмотка ротора одноклеточная и состоит из медных стержней колбовидного профиля, концами впаянных тугоплавким припоем в медные короткозамкнутые кольца. Вал ротора кованый с фланцем на конце. На валу внизу под ротором расположена стальная втулка нижнего направляющего подшипника, а наверху — стальная втулка подпятника. Подпятники АД серии ВАН — сегментные.

В АД 14-го габарита серии ВАН в качестве направляющих подшипников применены шарикоподшипники, расположенные в специальных гнездах верхней и нижней крестовин. В АД 15-го габарита применены направляющие подшипники скольжения кольцевого типа из двух половин с рабочей поверхностью, залитой баббитом.

В АД 16-го и 17-го габаритов применены сегментные направляющие подшипники. Система смазки направляющих подшипников — замкнутая без внешней циркуляции. Охлаждение масла осуществляется встроенными водяными маслоохладителями. Для охлаждения может применяться морская вода. В этом случае трубки маслоохладителей изготавливают из мельхиора, а трубные доски — из цветного сплава (латуни).

9.10.6. Асинхронные двигатели типов АОК2-560 и АОК2-630

Двигатели с фазным ротором типа АОК2 с высотами осей вращения 560 и 630 мм предназначены для приводов механизмов с тяжелыми условиями пуска и механизмов, требующих регулирования частоты вращения. Они рассчитаны на пуск при полном напряжении сети с включением пускового реостата в цепь ротора. Режим работы — S1. Исполнения АД: по способу монтажа — IM1001, по способу защиты от влияния окружающей среды — IP44 (наружного вентилятора — IP22); способ охлаждения — IC0151.

Двигатели оборудованы встроенными нагревателями, которые включаются на время длительных остановок при температуре окружающей среды меньшей 1 °С.

В обозначении АД после названия серии (АОК2 — асинхронный, обдуваемый, с контактными кольцами) последовательно указываются: высота оси вращения, мм, условная длина двигателя (Мк — меньшая, L — большая), число полюсов, климатические исполнения и категория размещения.

Обмотка статора АД соединена в звезду и имеет шесть выводов на четыре изолятора, размещенных в коробке выводов, которая расположена на корпусе справа, если смотреть со стороны привода. Левое расположение коробки выводов должно быть оговорено в заказе.

Технические данные двигателей

	АОК2-560 Мк-10У1	АОК2-630 L-10У1
Мощность, кВт	200	500
Напряжение, В	6000	6000
Частота тока, Гц	50	50
Ток статора, А	26,5	61
Коэффициент мощности	0,8	0,82
КПД, %	91,2	93,4
Ток ротора, А	250	360
Напряжение на кольцах ротора, В	510	865
Номинальное скольжение	0,021	0,018
Отношение максимального момента к номинальному	2,2	2
Момент инерции, кг·м ²	44	128

Двигатели на номинальное напряжение 3000 В выпускаются с такой же обмоткой статора, что и двигатели на 6000 В, но с удвоенным числом параллельных ветвей; соответствующим в 2 раза увеличивается ток статора.

Двигатели допускают крен и дифферент до 18°.

Срок службы до капитального ремонта — не менее 5 лет, до списания — не менее 20 лет.

9.10.7. Асинхронные двигатели типа АКСБ 15-го габарита

Двигатели типа АКСБ с фазными роторами предназначены для привода насосов буровых установок с регулируемой частотой вращения. Допустимый диапазон регулирования при $M = M_{\text{ном}}$ — от $n = n_{\text{ном}}$ до $n = 0,5n_{\text{ном}}$. Двигатели рассчитаны на режим работы S1. Исполнения АД типа АКСБ: по способу монтажа — IM1001, по степени защиты от влияния окружающей среды — IP23 (контактные кольца и коробка выводов — IP44); способ охлаждения — IC01.

В обозначении после букв АКСБ (асинхронный, с фазным ротором, специального исполнения, буровой) указываются последовательно условный габарит (15); длина магнитопровода статора, см; число полюсов; напряжение, кВ; климатическое исполнение и категория размещения (УХЛ2). Технич-

Таблица 9.82. Технические данные двигателей типа АКСБ-15

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт, при		Напряжение, В	Ток статора, А	$\cos \phi$	КПД, %	Напряжение на контактных кольцах, В	Ток ротора, А	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$
	$n = n_{ном}$	$n = 0,5n_{ном}$							
АКСБ-15-44-6УХЛ2	600	315	6000	75,3	0,85	94,7	780	550	1,8
АКСБ-15-54-6УХЛ2	800	400	6000	94	0,86	94,9	950	580	1,8
АКСБ-15-69-6УХЛ2	1000	500	6000	116,5	0,87	95,3	1130	580	1,8

ские данные АД типа АКСБ приведены в табл. 9.82.

Изоляция обмотки статора маслостойкая, терморезистивная, класса нагревостойкости не ниже В. Для контроля теплового состояния обмотки и сердечника статора встроены шесть термометров сопротивления.

Средний срок службы двигателей 20 лет. Расчетный срок службы подшипников 10 000 ч.

9.11. Асинхронные двигатели специального назначения

Отечественная промышленность выпускает большое число АД специального назначения, т. е. предназначенных для работы с конкретными типами приводных механизмов в бытовых приборах, в системах автоматики, в металлургической промышленности и т. п. Эти АД, как правило, существенно отличаются от АД общего назначения конструктивным исполнением, техническими данными и характеристиками, которые соответствуют специфическим требованиям того или иного приводного механизма.

Описание и технические данные АД специального назначения помещены во втором томе Справочника в разделах, соответствующих их основному назначению (краново-металлургические двигатели, взрывобезопасные, погружные, бытовые и т. п.).

9.12. Фазорегуляторы и индукционные регуляторы напряжения

Индукционные регуляторы напряжения и фазорегуляторы (фазовращатели) представляют собой асинхронные машины с заторможенным фазным ротором, в которых с помощью поворотного устройства можно изменять положение ротора относительно статора. Намагничивающий ток соединенной с сетью обмотки создает магнитный поток, который наводит ЭДС во вторичной обмотке. Фаза ЭДС меняется в зависимости от

взаимного положения осей первичной и вторичной обмоток.

В фазорегуляторах на нагрузку подается напряжение от вторичной обмотки, неизменное по амплитуде и меняющееся по фазе в зависимости от угла поворота ротора.

В индукционных регуляторах происходит суммирование первичного и вторичного напряжений, при этом изменение фазы ЭДС вторичной обмотки, происходящее при повороте ротора, вызывает изменение напряжения на нагрузке регулятора (см. § 9.1).

9.12.1. Индукционные регуляторы напряжения серии ИР

Регуляторы напряжения серии ИР (табл. 9.83, 9.84) предназначены для плавного регулирования напряжения на нагрузке в широких пределах при неизменном напряжении питающей сети.

В условном обозначении регуляторов после наименования серии — букв ИР — следуют двухзначные цифры, определяющие над чертой диаметр сердечника статора (габарит) в сантиметрах и под чертой — длину сердечника статора в сантиметрах; далее следует обозначение климатического исполнения и категории размещения по ГОСТ 15150-69.

Регуляторы имеют вертикальное исполнение. Обмотки статора и ротора выполнены из прямоугольного провода; пазы открытые; в сердечниках имеются вентиляционные аксиальные каналы; лобовые части обмоток прикреплены к бандажным кольцам. В регуляторах ИР 99 и ИР 118 в пазы статора заложены термометры сопротивления.

Подшипники ротора располагаются в подшипниковых щитах. На нижнем щите находится фланец для крепления регуляторов к фундаментной плите. Ограничение угла поворота ротора достигается упором роговой втулки, насаженной на его вал, в приливы с резиновыми амортизаторами, расположенными на верхнем подшипниковом щите.

Таблица 9.83. Технические данные индукционных регуляторов напряжения ИР климатического исполнения УЗ

Тип регулятора	Число фаз	Мощность нагрузки, кВт · А	Напряжение сети, В	Пределы регулирования напряжения на нагрузке, В	Ток, А		cosφ	Схема соединения обмоток по рис. 9.18	Мощность приводного электродвигателя, кВт	
					сети	нагрузки			вентилятора	приводного механизма
ИР 59/22-УЗ	3	160	380	0—380	310	245	0,68	8	2,2	0,6
	3	160	380	0—650	321	143	0,64	4		
ИР 59/32-УЗ	1	145	380	0—650	495	220	0,64	2	2,2	0,6
	3	250	380	0—650	470	220	0,67	4		
ИР 74/29-УЗ	3	160	380	0—860	330	110	0,62	6	2,2	0,6
	3	400	380	0—380	790	610	0,66	8		
ИР 74/40-УЗ	3	400	380	0—650	770	356	0,67	4	2,2	0,6
	1	320	380	0—650	1055	492	0,66	2		
ИР 99/32-УЗ	3	500	380	0—650	965	445	0,65	4	2,2	0,6
	3	400	380	0—860	770	270	0,65	6		
ИР 99/45-УЗ	1	250	6000	0—220	67	1130	0,53	1	7,5	2,2
	1	250	6000	0—380	71	660	0,5	1		
ИР 118/45-УЗ	3	1000	380	0—650	1890	890	0,66	4	7,5	2,2
	3	800	380	0—860	1565	540	0,64	6		
ИР 118/60-УЗ	3	320	6000	0—380	51	490	0,51	7	13	2,2
	3	500	6000	0—7800	69	37	0,58	5		
ИР 118/80-УЗ	1	800	380	0—650	2620	1230	0,66	2	7,5	2,2
	1	400	6000	0—380	106	1050	0,53	1		
ИР 118/100-УЗ	3	1250	380	0—650	2390	1110	0,67	4	13	2,2
	3	1000	380	0—860	1920	675	0,65	6		
ИР 118/120-УЗ	3	500	6000	0—380	73	760	0,56	7	13	2,2
	3	800	6000	0—7800	98	59	0,65	5		
ИР 118/140-УЗ	1	630	6000	0—380	166	1660	0,54	1	7,5	2,2
	1	1000	6000	0—6000	228	167	0,56	3		
ИР 118/160-УЗ	3	800	6000	0—380	113	1220	0,57	7	13	2,2
	3	800	6000	0—860	105	540	0,56	7		
ИР 118/180-УЗ	3	1600	6000	0—7800	180	118	0,65	5	13	2,2
	3	1600	6000	0—10800	190	86	0,66	4		
ИР 118/200-УЗ	1	1000	6000	0—380	240	2630	0,55	1	7,5	2,2
	3	1000	6000	0—380	145	1520	0,56	7		
ИР 118/220-УЗ	3	2000	6000	0—7800	245	148	0,64	5	13	2,2
	3	2000	6000	0—10800	236	107	0,66	4		
ИР 118/240-УЗ	3	2000	6000	0—6000	250	193	0,7	8	13	2,2
	3	1250	10000	0—11000	95	65	0,64	8		

Механизм дистанционного управления приводится в движение АД. Вращающий момент от АД передается на вал ротора регулятора через понижающий редуктор и зубчатые (ИР 99 и ИР 118) или червячные (ИР 59, ИР 74) секторы, которые соединены с роговой втулкой предохранительными шпильками. При аварийных режимах шпильки срываются, предотвращая поломку зубьев привода.

Внутри корпуса размещены конечные выключатели двигателя привода, положения которых устанавливают предельные углы поворота ротора регулятора, необходимые для достижения заданного напряжения на нагрузке.

Технические данные регуляторов ИР

указаны при работе с коэффициентом мощности нагрузки, равным 0,8. При работе с коэффициентом мощности нагрузки, меньшим 0,8, номинальный ток снижается в соответствии с данными, приведенными ниже:

Коэффициенты мощности нагрузки регуляторов ИР	0,7	0,6	0,5
Отношение тока нагрузки к номинальному току	0,93	0,88	0,85

Продолжение

Коэффициенты мощности нагрузки регуляторов ИР	0,4	0,3	0,2 и менее
Отношение тока нагрузки к номинальному току	0,82	0,81	0,8

Таблица 9.84. Технические данные индукционных регуляторов напряжения серии ИР климатического исполнения Т4

Тип регулятора	Число фаз	Мощность нагрузки, кВт · А	Напряжение сети, В	Пределы регулирования напряжения на нагрузке, В	Ток, А		cos φ	Схема соединения обмоток на рис. 9.18
					сети	нагрузки		
ИР 59/22-Т4	3	160	380	0—380	310	245	0,68	8
	3	140	380	0—650	278	124	0,64	4
	1	110	380	0—650	391	170	0,62	2
ИР 59/32-Т4	3	195	380	0—650	372	173	0,66	4
	3	125	380	0—860	266	84	0,6	6
	3	340	380	0—380	660	515	0,66	8
ИР 74/29-Т4	3	300	380	0—650	590	267	0,64	4
	1	270	380	0—650	905	415	0,65	2
	3	375	380	0—650	745	332	0,63	4
ИР 74/40-Т4	3	340	380	0—860	685	230	0,62	6
	1	190	6000	0—220	50	860	0,51	1
	1	240	6000	0—380	68	635	0,5	1
ИР 99/32-Т4	3	800	380	0—650	1510	700	0,66	4
	3	800	380	0—860	1565	540	0,64	6
	3	300	6000	0—380	48	455	0,51	7
ИР 99/45-Т4	3	390	6000	0—7800	28	55	0,57	5
	1	650	380	0—650	2145	1000	0,65	2
	1	340	6000	0—380	91	900	0,52	1
ИР 99/45-Т4	3	1250	380	0—650	2390	1110	0,65	4
	3	1000	380	0—860	1920	675	0,65	6
	3	480	6000	0—380	70	730	0,55	7
ИР 118/45-Т4	3	530	6000	0—7800	70	35,3	0,63	5
	1	550	6000	0—380	144	1440	0,54	1
	1	800	6000	0—6000	195	133	0,54	3
ИР 118/45-Т4	3	630	6000	0—380	97	960	0,54	7
	3	630	6000	0—860	90	420	0,54	7
	3	1100	6000	0—7800	140	81	0,64	5
ИР 118/60-Т4	3	1200	6000	0—10800	153	64	0,62	4
	1	750	6000	0—380	180	1920	0,55	1
	3	850	6000	0—380	128	1290	0,53	7
ИР 118/60-Т4	3	1600	6000	0—7800	213	120	0,63	5
	3	1600	6000	0—10800	180	86	0,64	4
	3	1250	10000	0—11000	105	65	0,64	8

Габаритные, установочные и присоединительные размеры регуляторов серии ИР приведены в табл. 9.85.

Схемы соединения обмоток статора и ротора показаны на рис. 9.18:

схема 1 — однофазная нормальная трансформаторная; применяется для преобразования высшего напряжения в низшее и регулирования в заданных пределах;

схема 2 — однофазная нормальная автотрансформаторная; применяется для регулирования напряжения на нагрузке в пределах от 0 до $2U_c$ (где U_c — напряжение сети);

схема 3 — однофазная специальная автотрансформаторная; применяется для регулирования напряжения на нагрузке в пределах от 0 до $1,5U_c$;

схема 4 — трехфазная нормальная автотрансформаторная; применяется для регули-

рования напряжения на нагрузке в пределах от 0 до $2U_c$;

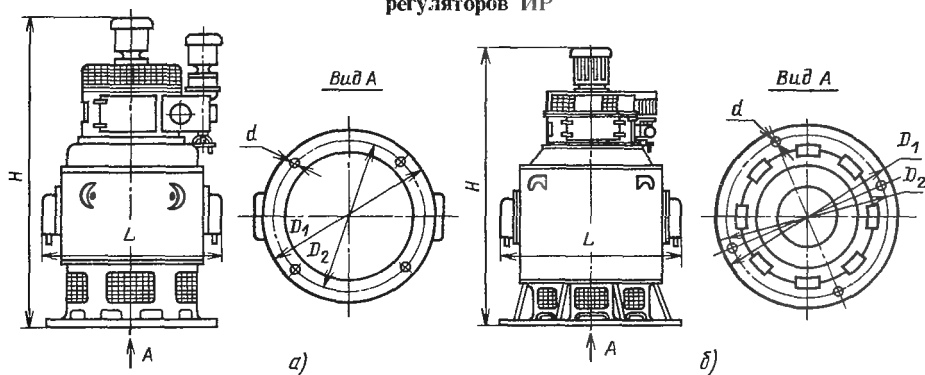
схема 5 — трехфазная специальная автотрансформаторная; применяется для регулирования напряжения на нагрузке в пределах от 0 до $1,5U_c$;

схема 6 — трехфазная специальная автотрансформаторная; применяется для регулирования напряжения на нагрузке в пределах от 0 до $(2 \div 3) U_c$;

схема 7 — трехфазная специальная трансформаторная; применяется для преобразования высшего напряжения в низшее и регулирования в заданных пределах;

схема 8 — трехфазная специальная с соединением обмоток статора и ротора в двойной треугольник; применяется для регулирования напряжения на нагрузке в пределах от 0 до U_c .

Таблица 9.85. Габаритные, установочные и присоединительные размеры индукционных регуляторов ИР



Тип регулятора	Рисунок	Размеры, мм					Масса, кг (не более)
		H	L	D ₁	D ₂	d	
ИР 74/29-У3 ИР 74/40-У3	а	1900 2007	1266	1150	1090	19,0	2400 2700
ИР 59/22-У3 ИР 59/32-У3		1575 1675	1045	900	840		1500 1700
ИР 118/45-У3 ИР 118/50-У3	б	3187 3337	2048	1950	1850	34,0	8100 9700
ИР 99/32-У3 ИР 99/45-У3		2518 2645	1410	1400	1300		5800 6400

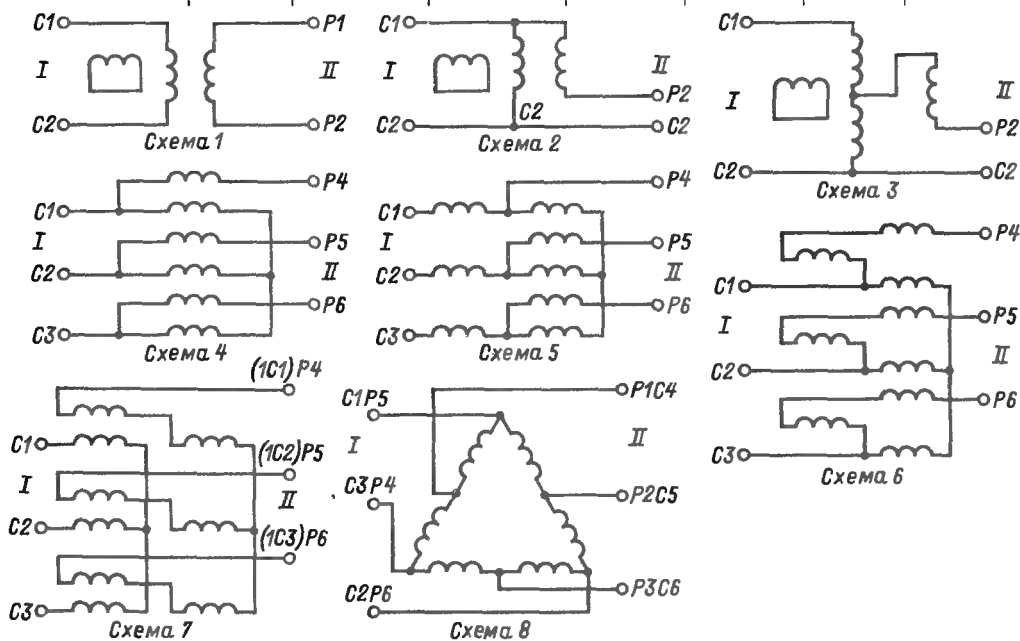


Рис. 9.18. Схемы соединения обмоток статора и ротора индукционных регуляторов серии ИР:

I — сторона сети; II — сторона нагрузки

9.12.2. Индукционные регуляторы напряжения серии ИР-6

Индукционные регуляторы серии ИР-6 подразделяются на две группы: для плавного регулирования напряжения на нагрузке при неизменяющемся напряжении питающей сети (ИР-60, ИР-61, ИР-62) и для стабилизации напряжения на нагрузке при изменяющемся в пределах 10% напряжении питающей сети (ИР-60С, ИР-61С).

В обозначении регуляторов первая цифра после букв ИР определяет условный номер габарита — 6; вторая — условную длину сердечника статора — 0, 1 или 2; буква С после цифры указывает, что регулятор предназначен для стабилизации напряжения при нагрузке. Регуляторы выпускаются в клима-

тическом исполнении У4 или Т4. Обмотки статора и ротора двухслойные, выполнены из круглого провода. Корпус и подшипниковые щиты литые. Система вентиляции аксиальная, принудительная. Вентилятор с приводом от АД установлен в верхней части регулятора. На верхнем подшипниковом щите расположен механизм управления. При дистанционном управлении момент на вал ротора индукционного регулятора передается от приводного АД через двухступенчатый червячный редуктор. Для быстрой остановки приводного АД поворотного механизма применяется тормоз, состоящий из шкива и тормозной ленты.

Переход от дистанционного управления к ручному осуществляется при помощи специальной муфты.

Таблица 9.86. Технические данные индукционных регуляторов напряжения серии ИР-6

Тип индукционного регулятора	Мощность на нагрузке, кВт · А	Напряжение сети, В	Напряжение на нагрузке, В	Ток сети, А	Ток нагрузки, А	cos φ
ИР-60У4	17	220	20—400	55	24,5	0,7
ИР-60Т4	15	220	20—400	49,5	21,5	0,67
ИР-60У4	17	380	20—680	32,5	14,5	0,7
ИР-60Т4	15	380	20—680	28,8	12	0,67
ИР-61У4	22	380	20—380	39	33,6	0,72
ИР-61Т4	18,5	380	20—380	32,5	28	0,7
ИР-61У4	22	220	20—400	73,5	31,9	0,68
ИР-61Т4	18,5	220	20—400	62,5	27	0,69
ИР-61У4	22	380	20—680	43,2	18,7	0,67
ИР-61Т4	18,5	380	20—680	37,5	15,7	0,65
ИР-62У4	30	380	20—380	53	46	0,72
ИР-62Т4	25	380	20—380	44	38	0,7
ИР-60СУ4	75	220 ± 22	220	227	197	0,77
ИР-60СТ4	60	220 ± 22	220	184	157	0,77
ИР-60СУ4	75	380 ± 38	380	131	114	0,77
ИР-60СТ4	60	380 ± 38	380	106,5	91	0,77
ИР-61СУ4	100	220 ± 22	220	305	262	0,77
ИР-61СТ4	80	220 ± 22	220	247	210	0,77
ИР-61СУ4	100	380 ± 38	380	179	152	0,77
ИР-61СТ4	80	380 ± 38	380	145	122	0,77

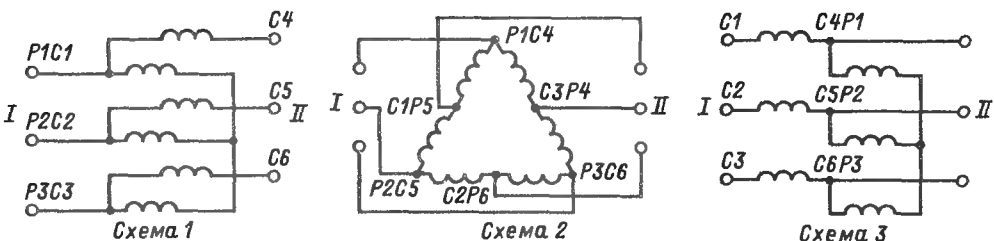
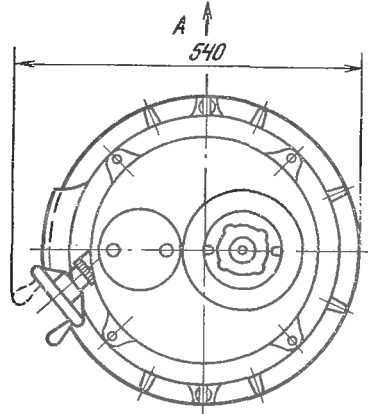
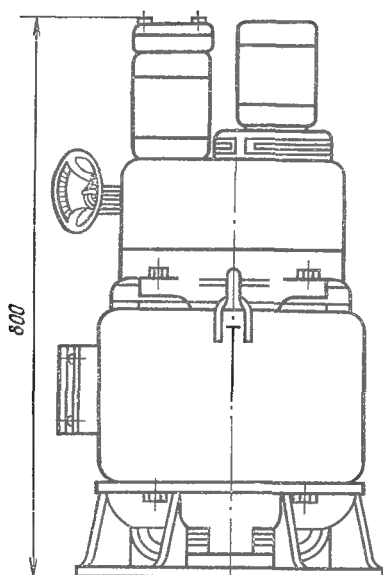


Рис. 9.19. Схемы соединения обмоток статора и ротора индукционных регуляторов ИР-6:

I — сторона сети; II — сторона нагрузки



Вид А

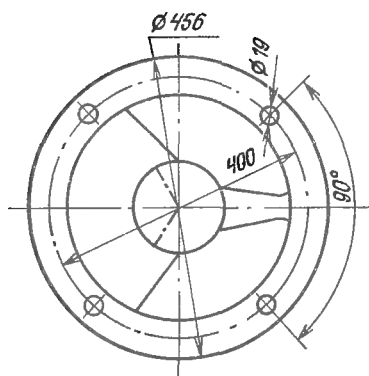


Рис. 9.20. Габаритные и установочные размеры индукционных регуляторов типа ИР6

Основные технические данные регуляторов серии ИР-6 (табл. 9.86) приведены для нагрузки при коэффициенте мощности 0,8. При эксплуатации регуляторов в режиме S1 с коэффициентом мощности нагрузки, меньшим 0,8, допустимый ток нагрузки снижается по сравнению с номинальным согласно данным, приведенным ниже:

Коэффициент мощности нагрузки регуляторов ИР-6	0,7	0,6	0,5
Отношение тока нагрузки к номинальному	0,93	0,88	0,85

Продолжение

Коэффициент мощности нагрузки регуляторов ИР-6	0,4	0,3	0,2 и менее
Отношение тока нагрузки к номинальному	0,82	0,81	0,8

Обмотки статора и ротора регуляторов соединяются по схемам рис. 9.19 в зависимости от диапазона регулирования напряжения:

схема 1 применяется для диапазона регулирования напряжения на нагрузке от 20 до 400 В и от 20 до 680 В;

схема 2 применяется для диапазона регулирования напряжения на нагрузке от 20 до 380 В;

схема 3 применяется для стабилизации напряжения на нагрузке.

Габаритные и установочные размеры индукционных регуляторов напряжения ИР 6 приведены на рис. 9.20.

9.12.3. Фазорегуляторы типов ФР, ФРО

Фазорегуляторы предназначены для плавного изменения фазы напряжения без изменения его амплитуды.

В условном обозначении фазорегуляторов: ФР — название серии; О — обдуваемый; первая цифра — габарит (по внешнему диаметру сердечника статора); вторая цифра (1 или 2) — условная длина сердечника; буква Р после цифр обозначает, что привод меха-

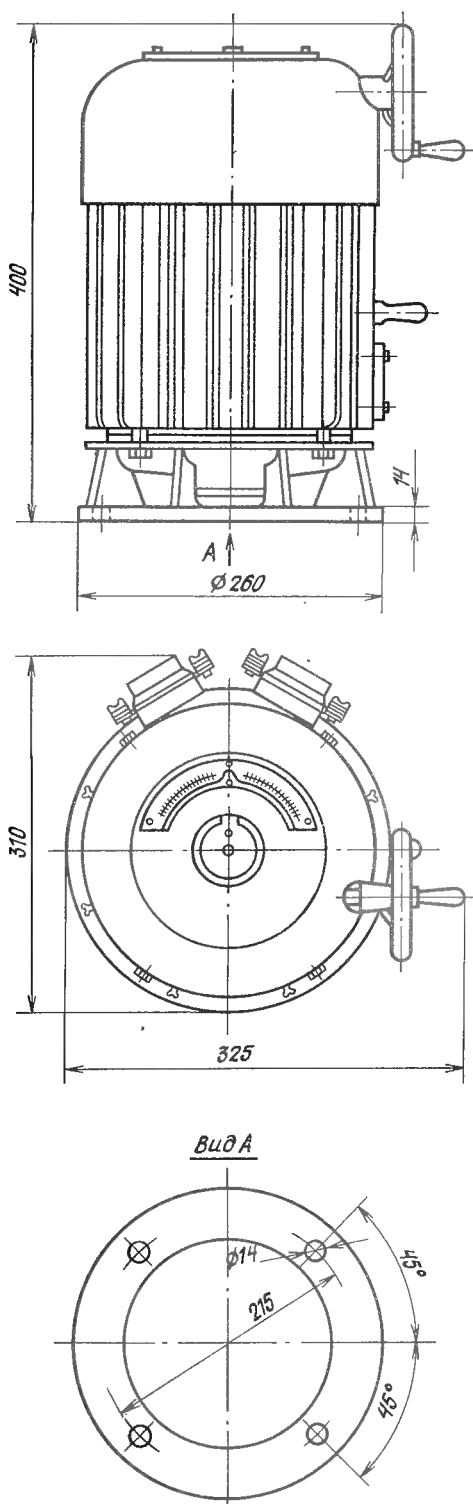


Рис. 9.21. Габаритные и установочные размеры фазорегуляторов типа ФР4

низма поворота только ручной; далее следуют условные обозначения климатического исполнения и категории размещения.

Обмотка статора фазорегуляторов серии ФР, ФРО (табл. 9.87) двухслойная, всыпная. Обмотка ротора фазорегуляторов 4-го и 5-го габаритов — однослойная, всыпная. Исполнение вертикальное. В верхнем и нижнем подшипниковых щитах установлены подшипники вала ротора. На нижнем щите имеется фланец с отверстиями для установки и крепления фазорегулятора. На верхнем подшипниковом щите установлен поворотный механизм.

Фазорегуляторы типа ФР4 и ФР5 имеют закрытое исполнение с естественным охлаждением; ФРО6 и ФРО7 — защищенное исполнение с принудительной вентиляцией от встроенного АД. Привод механизма поворота у ФР4 ручной, у остальных типоразмеров — от АД через понижающий редуктор. Угол поворота ротора — 120° в обе стороны от основного положения, ограничивается положением конечных выключателей, которые устанавливают перемещением по пазу в верхнем торцевом щите.

В фазорегуляторах ФР4 — две коробки выводов по 6 клемм в каждой: одна — для обмотки статора, вторая — для обмотки ротора. В фазорегуляторах ФР5 — одна коробка выводов с 18 клеммами: 6 — для обмотки статора, 6 — для обмотки ротора и 6 — для подключения конечных выключателей.

В фазорегуляторах ФРО6 и ФРО7 — две коробки выводов. В коробке для первичной стороны — 6 клемм для обмотки статора, к которым подключается также двигатель вентилятора, и 6 клемм для конечных выключателей. В коробке для вторичной стороны — шесть клемм для обмотки ротора и три клеммы для дополнительного вывода каждой фазы обмотки.

Установочные, присоединительные и габаритные размеры фазорегуляторов ФР, ФРО приведены на рис. 9.21—9.23.

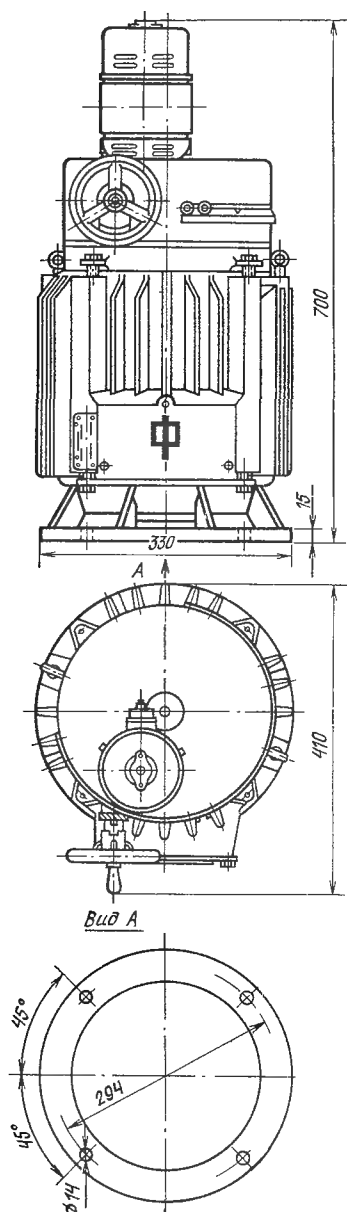


Рис. 9.22. Габаритные и установочные размеры фазорегуляторов типа ФР5

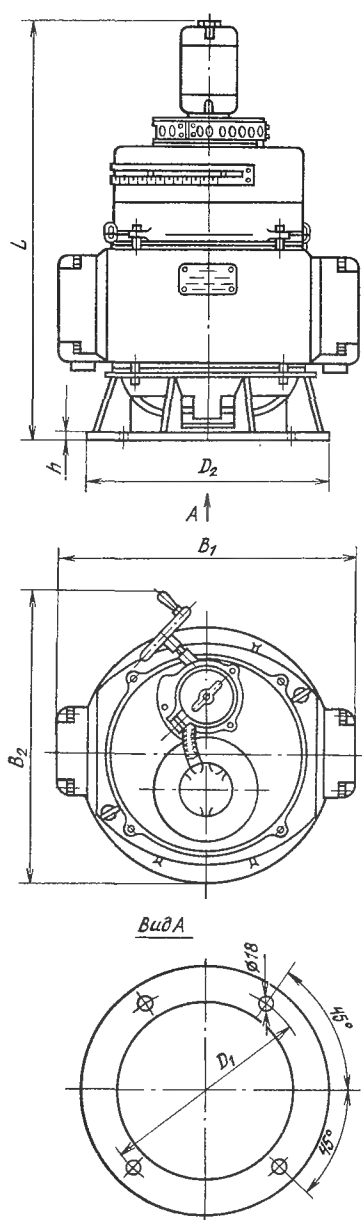


Рис. 9.23. Габаритные и установочные размеры фазорегуляторов типа ФР06 и ФР07:

Тип регулятора	Размеры					
	L	D ₁	D ₂	B ₁	B ₂	h
ФР061, ФР062	775	384	456	548	540	18
ФР071, ФР072	880	422	510	568	560	20

Таблица 9.87. Технические данные фазорегуляторов типа ФР, ФРО (соединения фаз обмоток Д/У)

Тип фазорегулятора	Номинальная мощность, кВт·А	Номинальное напряжение первичное (статора), В	Номинальное напряжение вторичное (ротора), В	Ток нагрузки, А	Ток сети, А	Масса, кг
ФР4	0,5	220/380 127/220	220/380 127/220	1,3/0,8 2,3/1,3	2,9/1,7 5/2,9	45
ФР51	1,0	220/380 127/220	220/380 127/220	2,6/1,5 4,5/2,6	5,2/3 9/5,2	88
ФР52	2,0	220/380 127/220	220/380 127/220	5,2/3,0 9,1/5,2	10,5/6,1 18,2/10,5	106
ФРО61	4,0	220/380 127/220	220/380 127/220	10,5/6,1 18,2/10,5	19/11 32,9/19	160
ФРО62	8,0	220/380 127/220	220/380 127/220	21/12,1 36,4/21,0	37,1/21,4 64,1/37,1	190
ФРО71	12,0	220/380 127/220	220/380 127/220	31,5/18,2 54,5/31,5	58,5/33,8 101,2/58,5	260
ФРО72	18,0	220/380 127/220	220/380 127/220	47,3/27,3 82/47,3	90,6/52,5 156,7/90,6	285

РАЗДЕЛ 10

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

10.1. Общие сведения

10.1.1. Особенности коллекторных машин постоянного тока

Коллекторные машины — это в основном машины постоянного тока. Они выпускаются мощностью от долей ватта до десятков тысяч киловатт. Коллекторные машины переменного тока находят применение в качестве приводных двигателей лишь для узкого круга специальных механизмов небольшой мощности, например как приводы некоторых бытовых приборов, электрифицированного ручного инструмента, медицинского оборудования, т. е. в тех случаях, когда для питания двигателей используется однофазный и реже трехфазный переменный ток, а характеристики асинхронных машин не удовлетворяют требованиям приводного механизма.

Коллекторные машины постоянного тока используются как двигатели и как генераторы. В промышленности более распространены двигатели, что объясняется все возрастающим применением различных статических выпрямителей, обеспечивающих промышленные установки энергией постоянного тока.

Широкое распространение двигателей постоянного тока несмотря на их более высокую стоимость и сложность эксплуатации по сравнению с асинхронными объясняется в первую очередь простыми и надежными способами регулирования частоты вращения, большими пусковыми моментами и перегрузочной способностью, чем у двигателей переменного тока. Наибольшее распространение двигатели постоянного тока получили в приводах, требующих глубокого регулирования частоты вращения (металлургическая промышленность, транспорт и т. п.).

10.1.2. Основные элементы конструкции машин постоянного тока

Основными конструктивными элементами машин постоянного тока (рис. 10.1) являются станина с закрепленными на ней главными и добавочными полюсами, вращающийся якорь с обмоткой и коллектором и щеточный аппарат. В машинах малой и средней мощностей станина одновременно служит и корпусом, к которому крепятся лапы для установки машины, и частью магнитопровода. По ней замыкается магнитный поток. В большинстве машин станина выполнена массивной, из стальных труб, либо

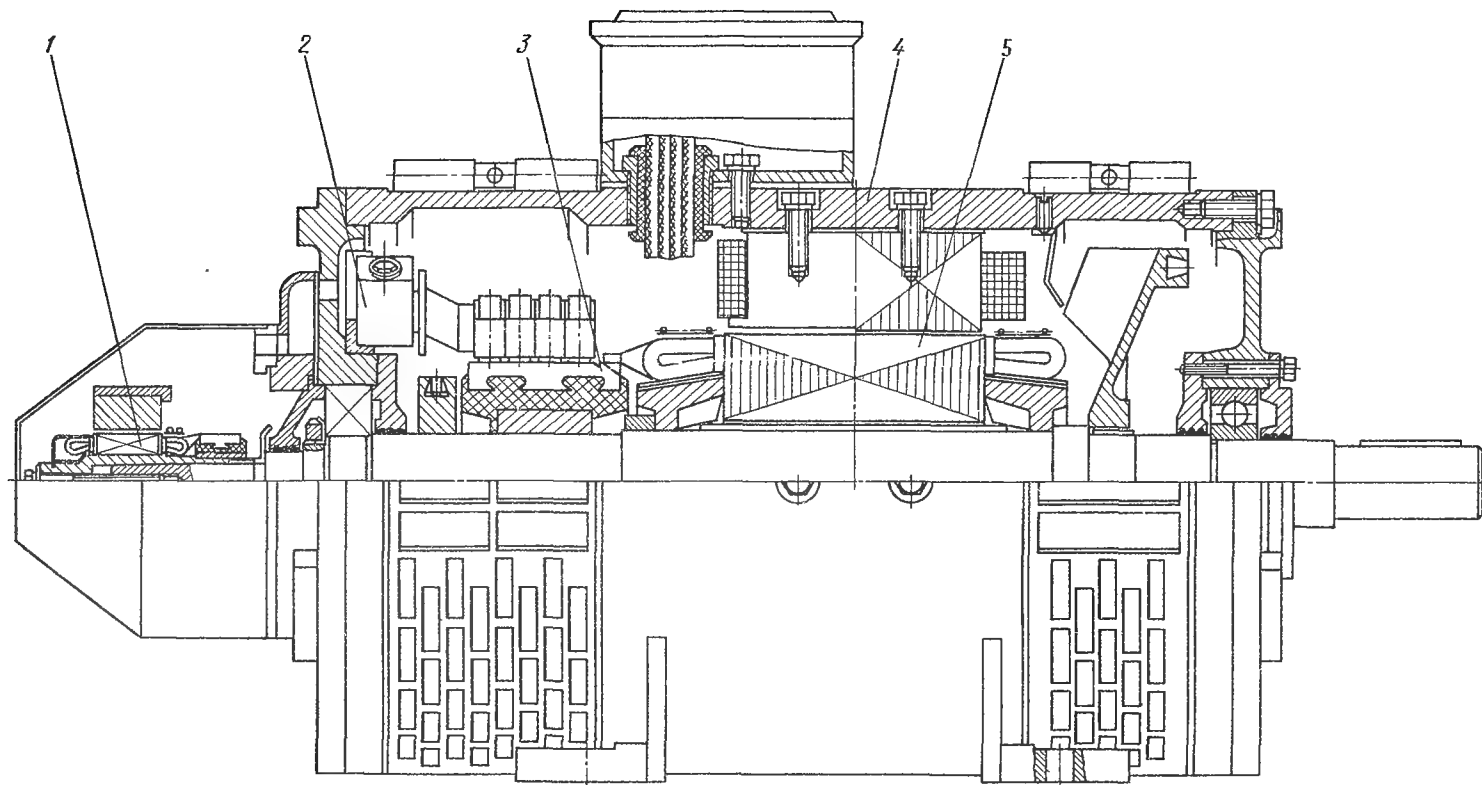


Рис. 10.1. Двигатель постоянного тока серии 2П:

1 — тахогенератор; 2 — траверса; 3 — коллектор; 4 — станина; 5 — якорь; 6 — главный полюс; 7 — добавочный полюс; 8 — щетки

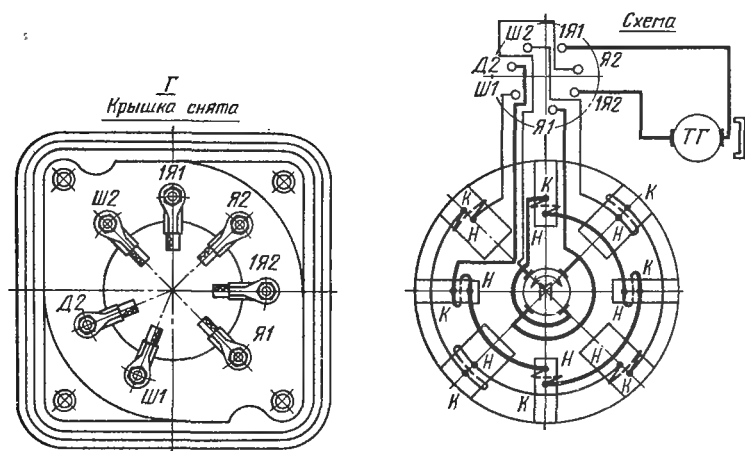
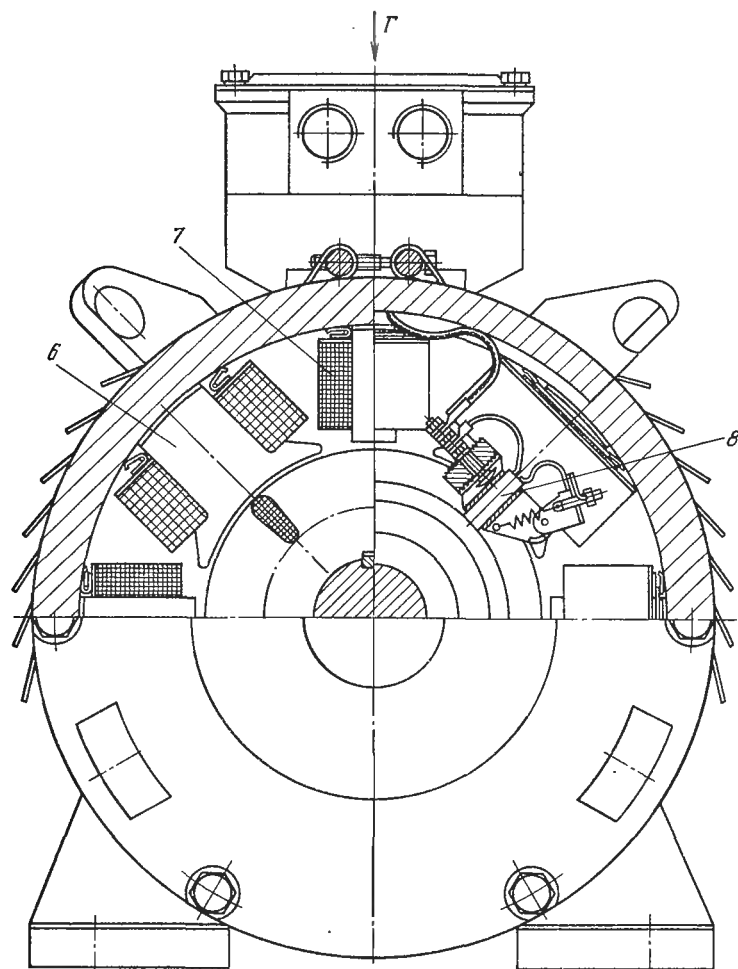


Рис. 10.1. Продолжение

сварной из листов конструкционной стали. В ряде машин станину выполняют шихтованной.

К внутренней поверхности станины крепят главные и добавочные полюсы. Сердечники главных полюсов массивные либо набраны из листов стали толщиной 1–2 мм. Сердечники добавочных полюсов, как правило, массивные. На главных полюсах располагаются обмотки возбуждения (см. § 4.10); их МДС создают рабочий поток машины. Обмотки добавочных полюсов, расположенных по поперечным осям машины, служат для обеспечения нормальной коммутации.

Магнитопровод якоря шихтуется из листов электротехнической стали. В машинах малой мощности сердечник якоря насаживается непосредственно на вал со шпонкой и фиксируется в осевом направлении буртиком вала и кольцевой шпонкой. С торцов якоря для предотвращения распухания листов во время работы установлены нажимные шайбы, совмещенные с обмоткодержателями.

Обмотки якорей (см. § 4.7) двухслойные. В машинах мощностью до 15–20 кВт они выполнены из круглого провода и уложены в полузакрытые пазы. В пазовых частях обмотка крепится пазовыми клиньями, в лобовых — бандажами из стеклотенты или немагнитной стальной проволоки, которые прижимают их к обмоткодержателям. В машинах большой мощности катушки обмотки якоря наматывают из прямоугольного провода и укладывают в открытые пазы. Крепление обмотки либо такое же, как и в машинах малой мощности, т. е. клиньями в пазовой и бандажами в лобовой части, либо бандажами и в пазовой, и в лобовой части. Выводные концы каждой секции обмотки плавяются в прорези коллекторных пластин.

Коллекторы в большинстве машин общего назначения цилиндрические. Торцевые коллекторы применяют лишь в некоторых машинах малой мощности специального назначения. Во всех цилиндрических коллекторах пластины имеют клиновидную форму с углом наклона, при котором пластины, собранные в кольцо, плотно прилегают друг к другу боковыми поверхностями и зажимают миканитовую изоляцию (рис. 10.2). Наибольшее распространение получили коллекторы, в которых пластины удерживаются в сжатом состоянии металлическими нажимными конусами (рис. 10.3) либо опрессовкой в пластмассу (рис. 10.4). В коллекторах с нажимными конусами пластины закрепляются передвижением переднего нажимного ко-

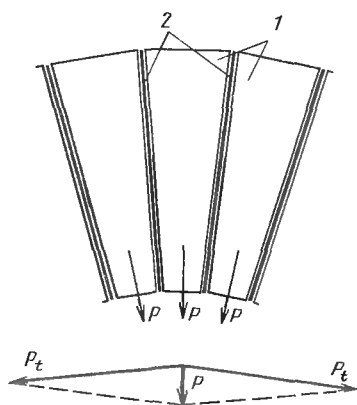


Рис. 10.2. Положение коллекторных пластин в цилиндрических коллекторах:

1 — пластины коллектора; 2 — изоляция между пластинами; P — сила давления нажимных конусов; P_t — сила арочного распора

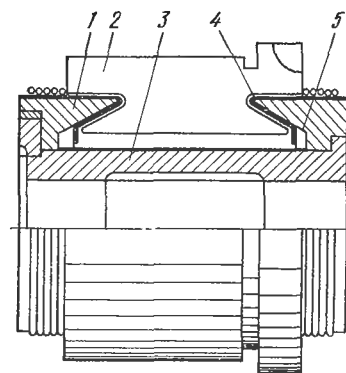


Рис. 10.3. Коллектор с нажимными конусами:

1 — передний нажимной конус; 2 — пластины коллектора; 3 — втулка коллектора; 4 — изоляционная манжета; 5 — задний нажимной конус

нуса по втулке коллектора. При этом создается давление на нижнюю часть ласточкина хвоста пластин и возникает арочный распор (см. рис. 10.2). Такие коллекторы называются арочными. Пластины коллектора с расположенными между ними изоляционными прокладками образуют монолитное кольцо. Нажимные конусы изолируют от пластин миканитовыми фигурными прокладками — манжетами, имеющими большую механическую прочность.

Коллекторы на пластмассе более просты в изготовлении, но в силу меньшей механи-

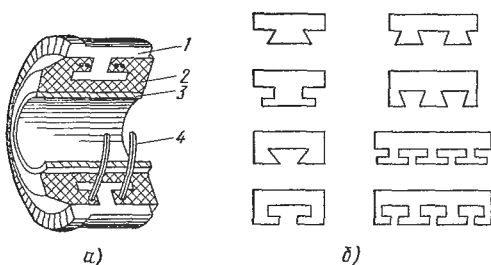


Рис. 10.4. Коллектор на пластмассе:

a — общий вид; *б* — варианты пластин коллектора; 1 — пластины коллектора; 2 — пластмассовый корпус; 3 — втулка коллектора; 4 — армировочное кольцо

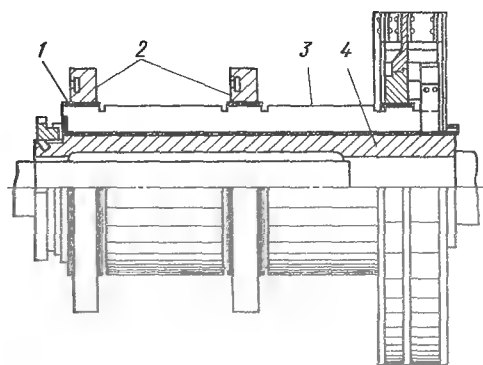


Рис. 10.5. Принципиальная конструкция коллектора с бандажными кольцами:

1 — изоляция под бандажными кольцами; 2 — бандажные кольца; 3 — пластины коллектора; 4 — втулка коллектора

ческой прочности и надежности не применяются в машинах большой мощности.

В некоторых быстроходных машинах, например в возбуждателях турбогенераторов, из-за больших центробежных сил, действующих на пластины коллектора, прочность их крепления с помощью ласточкиных хвостов оказывается недостаточной и коллекторные пластины крепят на втулку с помощью внешних бандажных колец (рис. 10.5).

Щетки коллекторных машин устанавливают в щеткодержатели, закрепленные на щеточных пальцах, причем на каждом щеточном пальце может быть установлено по несколько щеткодержателей и щеток, соединенных между собой параллельно. Число щеток и их размеры определяются номинальным током машины. Число щеточных пальцев должно быть равно числу полюсов машины. Двигатели с волновой обмоткой на

якоре при отсутствии места для установки полного комплекта щеточных пальцев допускают установку неполного числа щеточных пальцев, что используется в некоторых конструкциях тяговых двигателей. Щеточные пальцы укреплены на траверсе, которая допускает поворот на некоторый угол вокруг оси машины для регулирования положения щеток на коллекторе.

В последние годы получают распространение бесколлекторные двигатели постоянного тока, в которых механический преобразователь тока — коллектор со щеточным аппаратом — заменен вентильным коммутатором. Вентильные двигатели имеют широкий диапазон регулирования частоты вращения и не имеют недостатков, связанных с работой скользящих контактов коллектор—щетки, характерных для коллекторных машин постоянного тока.

10.1.3. Характеристики машин постоянного тока

Характеристики машин постоянного тока определяются системой возбуждения: независимой, параллельной, последовательной или смешанной (рис. 10.6, *a—г*).

При независимой системе возбуждения обмотка возбуждения питается от постороннего источника постоянного тока и ток возбуждения не зависит от режима работы и нагрузки машины. Генераторы с независимой системой возбуждения допускают регулирование напряжения практически от нуля до номинального. Изменение напряжения при увеличении нагрузки определяется только размагничивающим действием реакции якоря и увеличением падения напряжения на сопротивлении якорной цепи.

Ток параллельной обмотки возбуждения генераторов с самовозбуждением меняется в зависимости от напряжения на выводах генератора и уменьшается с ростом нагрузки из-за размагничивающего действия реакции якоря, что в свою очередь приводит к добавочному увеличению падения напряжения. За счет этого номинальное падение напряжения генераторов с параллельным возбуждением больше, чем генераторов с независимым возбуждением.

В генераторах со смешанной системой возбуждения при согласном включении параллельной и последовательной обмоток поток стабилизируется, так как размагничивающее действие реакции якоря компенсируется изменением МДС последовательной обмотки, пропорциональным току нагрузки. Последовательную обмотку таких машин

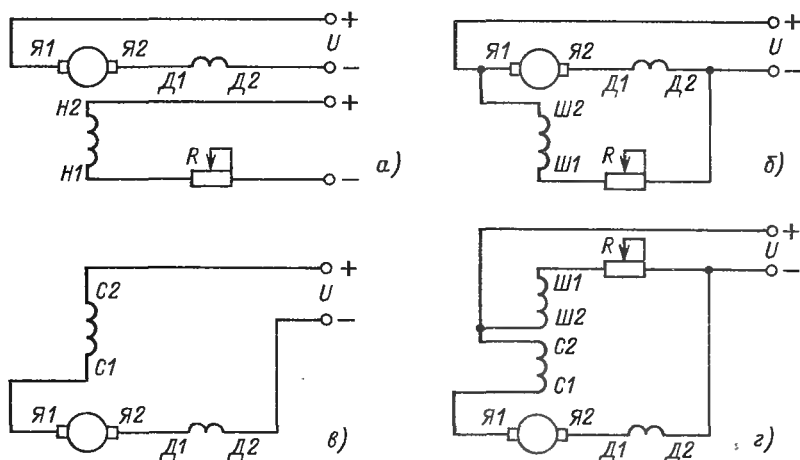


Рис. 10.6. Системы возбуждения машин постоянного тока:

а — независимая; б — параллельная; в — последовательная; г — смешанная

называют стабилизирующей. Номинальное падение напряжения генераторов со стабилизирующей обмоткой мало. Некоторые генераторы выполнены со стабилизирующей обмоткой, при которой обеспечивается равенство $U_{\text{ном}} = U_{x,x}$ (где $U_{x,x}$ — напряжение холостого хода).

При встречном включении параллельной и последовательной обмоток возбуждения напряжение на выводах генератора резко падает с увеличением тока нагрузки. Такие системы возбуждения находят применение в сварочных генераторах постоянного тока.

В двигателях параллельного возбуждения размагничивающее действие реакции якоря может вызвать неустойчивую работу, так как уменьшение потока с ростом нагрузки из-за действия реакции якоря при малом суммарном сопротивлении якорной цепи приводит к увеличению частоты вращения двигателя. Поэтому в большинстве двигателей средней и во всех двигателях большой мощности помимо параллельной устанавливается последовательная обмотка возбуждения, стабилизирующая магнитный поток и придающая устойчивость механической характеристике (рис. 10.7, а).

Механические характеристики двигателей с последовательным возбуждением (рис. 10.7, б) имеют специфический «падающий» характер. Двигатели с последовательным возбуждением используются в приводах, требующих больших пусковых моментов и устойчивой работы при малых частотах вращения.

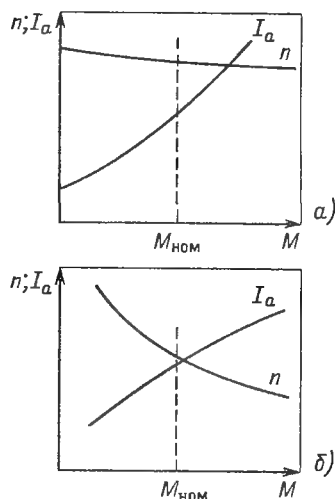


Рис. 10.7. Механические характеристики двигателей постоянного тока:

а — смешанного возбуждения; б — последовательного возбуждения

10.1.4. Регулирование частоты вращения машин постоянного тока

В общем случае частота вращения двигателей постоянного тока определяется выражением

$$n = (U - I_a \sum R_a) / (C_E \Phi),$$

где U — напряжение, подводимое к якорю двигателя; I_a — ток якоря; $\sum R_a$ — сумма сопротивлений якоря и всех последовательно

включенных обмоток; C_E — коэффициент, зависящий от обмоточных данных двигателя; Φ — магнитный поток машины.

Из приведенного выражения следует, что частота вращения двигателя при неизменной нагрузке может быть изменена регулированием питающего напряжения U , включением последовательно с якорем дополнительного регулировочного резистора (изменение $\sum R_a$) и изменением магнитного потока машины (изменением тока возбуждения). В практике применяются все три способа регулирования.

Регулирование частоты вращения изменением подводимого напряжения встречает трудности, связанные со сложностью преобразования напряжения постоянного тока. Для этой цели либо применяют статические преобразователи напряжения, либо питают двигатель от отдельного генератора постоянного тока, допускающего плавное регулирование напряжения (система генератор — двигатель). Такие системы применяют лишь для отдельных специальных приводов, требующих регулирования частоты вращения по сложной программе, например для главных двигателей прокатных станов.

Регулирование частоты вращения поточком является наиболее экономичным способом, так как потери в регулировочных резисторах, включаемых для этой цели последовательно с обмоткой возбуждения, невелики из-за малого тока возбуждения.

Таблица 10.1. Оценка степени искрения под сбегающим краем щеток по ГОСТ 183-74

Степень искрения	Характеристика степени искрения	Состояние коллектора и щеток
1	Отсутствие искрения	Отсутствие почернения на коллекторе и следов нагара на щетках
$\frac{1}{4}$	Слабое искрение под небольшой частью края щетки	
$\frac{1}{2}$	Слабое искрение под большей частью края щетки	Появление следов почернения на коллекторе и следов нагара на щетках, легко устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином
2	Искрение под всем краем щетки. Допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузки	Появление следов почернения на коллекторе и следов нагара на щетках, не устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином
3	Значительное искрение под всем краем щетки с появлением крупных и вылетающих искр. Допускается только при прямом включении или реверсировании машин, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы	Значительное почернение на коллекторе, не устраняемое протиранием поверхности коллектора бензином, а также подгар и частичное разрушение щеток

Однако этот способ позволяет лишь увеличивать частоту вращения двигателей по сравнению с номинальной. Такой способ регулирования предусмотрен для всех серийных двигателей постоянного тока.

Включение добавочного резистора в цепь якоря дает возможность плавно регулировать частоту вращения, но сопряжено с большими потерями в регулировочном реостате, по которому проходит полный ток нагрузки. Этот способ используется, например, для регулирования частоты вращения тяговых двигателей.

В современных системах регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока применяются тиристорные схемы, позволяющие осуществить регулирование частоты вращения в широких пределах по заданной программе. Датчиками частоты вращения для осуществления обратной связи при регулировании могут быть тахогенераторы, размещенные на валу якоря двигателя (см. рис. 10.1).

10.1.5. Коммутация машин постоянного тока

Коммутация машин постоянного тока, т. е. изменение направления тока в секциях обмотки якоря при переходе секций от одного полюсного деления к другому, происходит при кратковременном замыкании их щетками на пластинах коллектора. При коммутации в короткозамкнутых секциях возни-

кают реактивная ЭДС и ЭДС вращения, наводимая потоком реакции якоря, магнитные силовые линии которого пронизывают замкнутые при коммутации секции. При движении коллектора в момент отхода пластины коллектора от замыкающей данную секцию щетки происходит разрыв цепи (замкнутой секции), имеющей индуктивное сопротивление, и возникает искрение между сбегающим краем щетки и коллекторной пластиной. При неудовлетворительной коммутации искрение может быть значительным и может привести к местному повреждению коллектора, что в свою очередь ухудшает переходный контакт щетка—коллектор и усиливает искрение. Качество коммутации машины постоянного тока оценивается по интенсивности искрения на коллекторе (табл. 10.1).

Для улучшения коммутации во всех машинах постоянного тока, кроме машин малой мощности, устанавливают добавочные полюсы, МДС которых компенсирует МДС реакции якоря по поперечной оси машины, т. е. в зоне расположения коммутируемых секций. Кроме того, поток, создаваемый обмоткой добавочных полюсов, наводит в замкнутых при коммутации секциях ЭДС, несколько превышающую реактивную ЭДС секций и направленную ей навстречу. Коммутация машины при этих условиях становится прямолинейной или даже ускоренной. Напряжение под сбегающим краем щеток уменьшается до весьма малых значений и искрение под щетками становится не опасным для работы машины.

В крупных машинах постоянного тока кроме добавочных полюсов в пазах на накопниках главных полюсов располагают компенсационную обмотку (см. § 4.8). Компенсационная обмотка предназначена для компенсации воздействия реакции якоря на поток возбуждения по продольной оси. Уменьшение влияния реакции якоря позволяет выполнять машины с уменьшенным воздушным зазором и улучшить их коммутацию.

10.2. Двигатели постоянного тока серии 4П

10.2.1. Общие сведения

Широкая автоматизация производства, повышение скоростей технологических процессов при непрерывно возрастающих требованиях к качеству промышленной продукции обусловили к началу 80-х годов необходимость резкого наращивания в СССР выпуска

широкорегулируемых тиристорных электроприводов с двигателями постоянного тока. Стремительное развитие автоматизированных станков с ЧПУ предопределило одновременно с этим весьма высокие требования к двигателям постоянного тока, используемым в приводах главного движения: увеличения мощности при заданной высоте оси вращения в 3—4 раза, расширения диапазона регулирования частоты вращения в 2—2,5 раза, а также существенного улучшения динамических и виброакустических свойств двигателя. Кроме того, стала актуальной проблема замены традиционной ручной технологии, применяемой для производства машин постоянного тока, на современную машинную технологию путем оснащения заводов высокопроизводительным технологическим оборудованием.

Исходя из требований современного электропривода в основу создания нового поколения машин серии 4П положены следующие принципы дифференциации двигателей постоянного тока:

1) по регулировочным свойствам: двигатели с нормальным регулированием — до 1:5 и широкорегулируемые двигатели — до 1:1000;

2) по типу конструкции:

закрытые, соответствующие степени защиты IP44 с полностью шихтованным магнитопроводом статора, заключенным в круглый чугунный или алюминиевый корпус, со способом охлаждения ICO041 (без вентиляции) или ICO141, с поверхностным охлаждением посредством вентилятора, жестко закрепленного на валу двигателя;

защищенные, со степенью защиты IP23, с шихтованным статором прямоугольного сечения без корпуса, с охлаждением от автономного электровентилятора, устанавливаемого сверху (сбоку), — ICO6, или по оси двигателя — ICO5;

3) по условиям эксплуатации:

нормальные, соответствующие значениям климатических факторов при эксплуатации УХЛ4 по ГОСТ 15543-70 и ГОСТ 15150-69 и в части воздействия механических факторов внешней среды — группе М1 по ГОСТ 17516-72;

с тяжелыми условиями эксплуатации (УХЛ3) и (М8), соответствующие работе во вспомогательных механизмах металлургического производства, на экскаваторах, буровых установках и т. п.

Структура серии 4П представлена в табл. 10.2.

Таблица 10.2. Структура двигателей серии 4П

Продолжение табл. 10.2

Исполнение	Тип	Высота оси вращения, мм	Номинальный вращающий момент, Н·м	Способ охлаждения	Степень защиты
Закрытые обдуваемые с нормальным регулированием	4ПО	80	2,3 3,5 4,7	ICO141	IP44
		100	5,6 7,1 9,5		
		112	14 19		
		132	25 35		
		160	47		
Закрытые с естественным охлаждением	4ПБ	80	1,2 1,6 2,4	ICO041	
		100	3,5 4,7 5,6		
		112	7,1 9,5		
	4ПБ	132	14 19	ICO041	IP44
		160	25 35		
Широко-регулируемые с принудительной вентиляцией	4ПФ	112	53 71	ICO6 ICO5	IP23
		132	95 118 140		
		160	190 236 280		
		180	355 475		
		200	560 710		
		225	850 1000		
			250		
	280	1700 2120			

Исполнение	Тип	Высота оси вращения, мм	Номинальный вращающий момент Н·м	Способ охлаждения	Степень защиты
Крупные двигатели для тяжелых условий эксплуатации		355	3000 3750 4750	—	IP23
		450	6000 9500 15 000		

10.2.2. Закрытые и обдуваемые двигатели унифицированной конструкции типа 4ПО и 4ПБ

Двигатели мощностью до 10 кВт (50 Н·м) с нормальными регулировочными свойствами составляют почти $\frac{2}{3}$ общей потребности отраслей народного хозяйства в машинах постоянного тока. Наибольшее применение они получили в комплектном тиристорном электроприводе типа ЭПУ2 в станкостроении, железнодорожном и морском транспорте.

В целях значительного снижения (в 2—3 раза) трудоемкости изготовления таких двигателей в новой серии реализована идея унификации конструкции машин постоянного тока с асинхронными двигателями серии 4А. Это предопределило возможность применения для производства статора, обработки корпусных деталей, сборки и испытаний машин постоянного тока технологического оборудования, созданного для серии 4А.

В унифицированной конструкции типа 4ПО и 4ПБ магнитопровод статора неявнополюсный с распределенными обмотками в пазах, равномерно распределенных вдоль его окружности. Обмотка возбуждения укладывается в два паза в пределах полюсной дуги основного потока, компенсационная обмотка располагается равномерно во всех пазах остальной расточки статора.

В унифицированной конструкции 4ПО (рис. 10.8) и 4ПБ одинакового габарита с двигателями серии 4А могут быть применены одинаковые станины, задние подшипниковые щиты, детали вентиляционного узла, коробки выводов, подшипники и их крышки.

Достоинствами унифицированной кон-

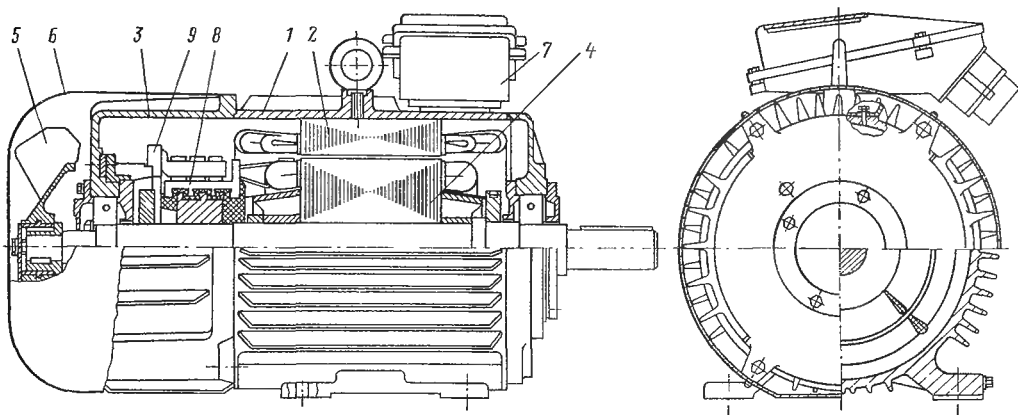


Рис. 10.8. Двигатель постоянного тока унифицированной конструкции типа 4ПО:

1 — корпус; 2 — магнитопровод статора; 3 — щит подшипниковый передний; 4 — сердечник якоря; 5 — вентилятор; 6 — кожух; 7 — коробка выводов; 8 — коллектор; 9 — traversa

струкции двигателей постоянного тока по сравнению с явнополюсными традиционной конструкции являются:

1) распределение статорных обмоток двигателей в сравнительно большом числе пазов, что приносит положительный эффект, состоящий в улучшении теплоотдачи, и позволяет существенно увеличить плотности тока в них по сравнению с принятыми в сосредоточенных обмотках возбуждения и добавочных полюсов вплоть до значений, соответствующих плотностям тока статорных обмоток асинхронных двигателей;

2) полная и совершенная компенсация поля реакции якоря по всей его окружности, позволяющая сохранить неизменным поле возбуждения и его форму на холостом ходу и под нагрузкой и снизить соответственно ток возбуждения в нагрузочном режиме по сравнению с требующимся в некомпенсированном двигателе постоянного тока;

3) применение полностью шихтованного магнитопровода, что уменьшает его магнитную несимметрию и практически устраняет отставание во времени изменений магнитного потока добавочных полюсов от изменения тока в их обмотках и, следовательно, повышает коммутационную, способность двигателей в стационарных и динамических режимах работы;

4) переход к степени защиты IP44 в унифицированных двигателях от обычно применяемой в двигателях традиционной явнополюсной конструкции степени защиты IP23, что повышает надежность этих двигателей в эксплуатации.

Замена двигателей серии 2П как закрытого, так и защищенного исполнения на двигатели унифицированной конструкции серии 4П обеспечивает: увеличение номинальной мощности в заданном габарите на одну шкалу МЭК; снижение материалоемкости на 15–20%; уменьшение расхода обмоточной меди на 25–35% и снижение трудоемкости изготовления в 2,5–3 раза.

Переход на полностью шихтованный магнитопровод в двигателях постоянного тока с номинальной мощностью от 0,25 до 5,5 кВт позволяет существенно повысить динамические качества тиристорного электропривода.

При тиристорном питании надежная работа двигателей серии 4П обеспечивается без необходимости применения сглаживающего реактора в якорной цепи без снижения номинальной мощности, если коэффициент пульсации тока не превышает 15% (при коэффициенте пульсации от 15 до 45% номинальная мощность двигателя снижается не более чем на 10%).

Двигатели рассчитаны на эксплуатацию при высоте над уровнем моря до 1000 м, температуре окружающей среды от 1 до 40°C, относительной влажности окружающего воздуха 80% при температуре 20°C. Двигатели типа 4ПО должны соответствовать группе условий эксплуатации М1 по ГОСТ 17516-72; типа 4ПБ — группе М1 или М8.

Технические данные двигателей, соответствующие режиму S1, приведены в табл. 10.3. Двигатели допускают также эксплуатацию в режимах S3–S8. Уровень шума при но-

Таблица 10.3. Технические данные двигателей типов 4ПО и 4ПБ

Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт, при исполнении		Напряжение, В	Ток якоря, А, при исполнении		Номинальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин
	УХЛ4	О4		УХЛ4	О4		
4ПО80А1	0,18	0,16	110 220	3,5 1,6	3,2 1,3	1000	2000
	0,25	0,225	110 220	4,1 1,7	3,6 1,5	1500	3000
	0,55	0,5	110 220	7,9 3,8	7,1 3,4	3000	4000
4ПО80А2	0,25	0,225	110 220	4,0 1,8	3,6 1,6	1000	2000
	0,37	0,33	110 220	5,8 2,1	5,2 1,9	1500	4000
	0,55	0,5	110 220	8,0 3,5	7,2 3,2	2200	4000
	0,75	0,67	110 220	10,7 4,9	9,6 4,4	3000	4000
4ПО80В1	0,37	0,33	110 220	4,8 2,4	4,3 2,1	1000	4000 2000
	0,55	0,5	50 75 110 220	14,5 10,2 7,7 3	13 9,2 6,9 2,9	1500	— — 4000 4000
	0,75	0,675	110 220	10,2 5	9,2 4,5	2200	4000
	1,1	1	50 75 110 220	31,2 21,1 15,2 7,1	28,1 19,9 13,7 6,4	3000	4000
4ПО100С1	0,37	0,33	110 220	5,7 2,7	5,1 2,4	750	3000 1500
	0,55	0,5	110 220	8,4 3,9	7,6 3,5	1000	4000 2000
	0,75	0,67	110 220	10,4 5,1	9,4 4,6	1500	4000
	1,1	1	110 220	14 6,7	12,6 6,1	2200	4000
	1,5	1,35	110 220	20 9,7	18 8,7	3000	4000 4000

Продолжение табл. 10.3

Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт, при исполнении		Напряжение, В	Ток якоря, А, при исполнении		Номинальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин
	УХЛ4	О4		УХЛ4	О4		
4ПО100S2	0,55	0,5	110 220	8,6 3,8	7,7 3,4	750	3000 1500
	0,75	0,675	110 220	10,4 4,8	9,4 4,3	1000	4000 2000
	0,55	0,5	75	11,9	10,7	1000	—
	1,1	1	110 220	13,8 6,1	12,4 5,5	1500	4000
	1,5	1,35	110 220	19,3 9,5	17,3 8,6	2200	4000
	2,2	2	110 220	26,2 13,4	23,6 12	3000	4000
4ПО100L1	0,75	0,675	110 220	11 5,2	9,9 4,7	750	3000 1500
	1,1	1	110 220	15,4 7,2	13,9 6,5	1000	4000 2000
	1,5	1,35	110 220	19 9,3	17,2 8,4	1500	4000
	2,2	2	110 220	28 13,9	25,4 12,5	2200	4000
	3	2,7	110 220	37,2 18,4	33,7 16,6	3000	4000
4ПО112M1	1,5	1,35	110 220	19 9	17,3 8,4	1000	2000
	2,2	2,0	110 220	26 12,8	23,6 11,5	1500	3000
	3	2,7	110 220	34,7 17	31,2 15,3	2200	4000
	4	3,6	110 220	44,8 22	40,3 19,8	3000	4000
4ПО112M2	1,5	1,35	110 220	19,1 9,6	18 8,6	750	1500
	2,2	2	110 220	27,9 13,6	25 12,2	1000	2000
	3	2,7	110 220	33,8 16,6	30,4 15	1500	3000
	4	3,6	110 220	45 22	40 20	2200	4000
	5,5	5	110 220	60 30	54 27	3000	4000

Продолжение табл. 10.3

Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт, при исполнении		Напряжение, В	Ток якоря, А, при исполнении		Номинальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин
	УХЛ4	О4		УХЛ4	О4		
4ПБ80А1	0,14	0,126	110 220	2,8 1,2	2,5 1	1000	2500
	0,18	0,16	110 220	2,9 1,3	2,6 1,1	1500	4000
	0,37	0,33	110 220	5,9 2,8	5,3 2,5	3000	4000
4ПБ80А2	0,18	0,16	110 220	2,9 1,3	2,6 1,1	1000	4000 2500
	0,25	0,225	110 220	3,7 1,6	3,3 1,5	1500	4000
	0,37	0,33	110 220	5,0 2,4	4,5 2,2	2200	4000
	0,55	0,5	110 220	8,1 3,8	7,2 3,4	3000	4000
4ПБ80В1	0,25	0,225	110 220	3,8 1,8	3,4 1,6	1000	4000 2500
	0,37	0,33	110 220	5,1 2,4	4,6 2,1	1500	4000
	0,55	0,5	110 220	7,3 3,5	6,6 3,2	2200	4000
	0,75	0,675	110 220	9,3 4,5	8,4 4	3000	4000
4ПБ100S1	0,25	0,225	110 220	4,2 1,9	3,8 1,7	750	3000 2000
	0,4	0,36	110 220	6,1 2,8	5,5 2,5	1000	4000 2500
	0,55	0,5	110 220	7,7 3,6	6,9 3,2	1500	4000
	0,75	0,675	110 220	9,6 4,6	8,6 4,1	2200	4000
	1,1	1	110 220	13,9 6,7	12,5 6	3000	4000
4ПБ100S2	0,37	0,33	110 220	5,4 2,6	4,9 2,3	750	3000 2000
	0,5	0,45	110 220	7 3,3	6,3 3	1000	4000
	0,75	0,675	110 220	9,3 4,5	8,4 4,0	1500	4000
	1,1	1	110 220	13,3 6,5	12 5,8	2200	4000

Продолжение табл. 10.3

Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт, при исполнении		Напряжение, В	Ток якоря, А, при исполнении		Номинальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин
	УХЛ4	О4		УХЛ4	О4		
4ПБ100S2	1,5	1,35	110 220	17,8 8,7	16 7,8	3000	4000
4ПБ100L1	0,4	0,405	110 220	6 3,1	5,4 2,8	750	3000 2000
	0,6	0,54	110 220	8 3,8	7,2 3,4	1000	4000 2500
	0,9	0,81	110 220	10,6 5,2	9,5 4,7	1500 1500	4000
	1,3	1,17	110 220	15,3 7,4	13,8 6,7	2200	4000
	1,8	1,62	110 220	20,7 10	18,6 9	3000	4000
	0,5	0,5	110 220	8 3,9	7,2 3,5	750	2500 2000
4ПБ112M1	0,75	0,675	110 220	10,5 5	9,5 4,5	1000	3000 2500
	1,1	1	110 220	14 6,7	12,6 6	1500	4000
	1,5	1,35	110 220	18,3 9,1	16,5 8,2	2200	4000
	2,2	2	110 220	25,6 12,5	23 11,3	3000	4000
	1	0,9	110 220	13 6,4	11,7 5,8	1000	2500
4ПБ112M2	1,5	1,35	110 220	17,6 8,8	15,8 7,9	1500	4000
	2,2	2	110	25,3	22,8	2200	4000

минальной частоте вращения соответствует классу 2 по ГОСТ 16372-84; допустимое значение вибрации при номинальной частоте вращения — классу 1,1 по ГОСТ 16921-83. Двигатели изготавливаются с параллельным или независимым возбуждением 220 В.

Частота вращения при номинальном напряжении на якоре и обмотке возбуждения, номинальном токе якоря и установившемся тепловом состоянии не должна отличаться от номинальной более чем на +15 и -10%.

Двигатели допускают регулирование частоты вращения вниз от номинальной снижением напряжения на выводах якоря в диапазоне 1:1000 со снижением тока якоря до 50% и вверх от номинальной до максималь-

ной, указанной в табл. 10.3, ослаблением поля (уменьшением тока возбуждения) при номинальном напряжении на якоре. Устойчивость работы обеспечивается системой регулирования привода.

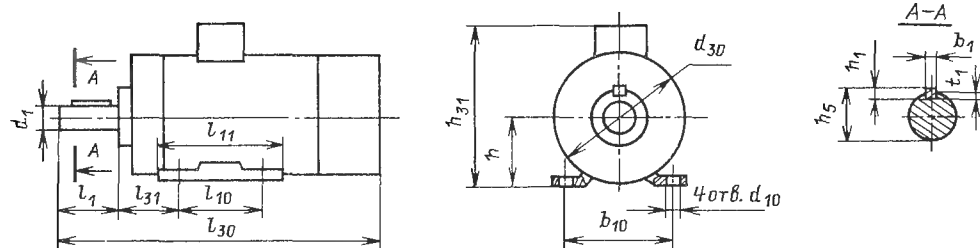
Класс нагревостойкости изоляции обмоток F.

Двигатели типа 4ПО в нагретом состоянии при номинальном токе возбуждения выдерживают перегрузку по току якоря в течение 10 с за цикл не менее 1 мин до $2I_{ном}$, типа 4ПБ — до $2I_{ном}$.

Формы исполнения двигателей по способу монтажа — IM081, IM2181, IM3081.

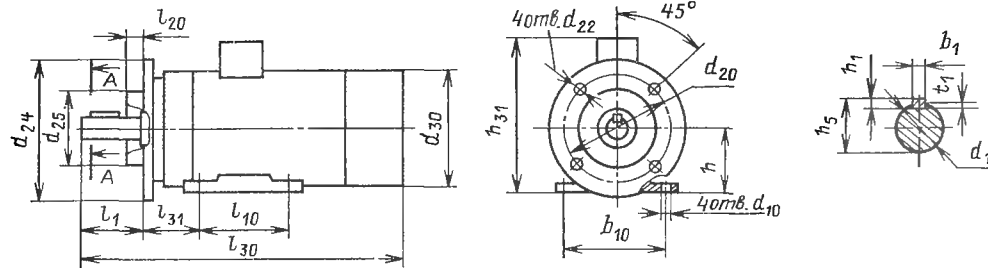
Габаритные, установочные, присоедини-

Таблица 10.4. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей типа 4ПО конструктивного исполнения ИМ1081



Типоразмер двигателя	Размеры, мм															Момент инерции, 10^{-2} кг·м ²	Масса, кг
	l_1	l_{10}	l_{30} не более	l_{31}	b_1	b_{10}	h	h_1	h_5	h_{31} не более	d_1	d_{10}	d_{30}	r_1	l_{11}		
4П80S	50	100	385	50	6	125	80	6	24,5	214	22	10	176	3,5	155	1,7	16
4П80M			385													2,7	18
4П80L			445													3,9	20
4П100S	50	112	497	63	8	160	100	7	31	256	24	12	225	4	200	5,4	36
4П100M			497													8,1	38
4П100L			527													10	40
4П112M	60	140	530	70	8	190	112	7	31	296	28	12	250	4	225	14	58
4П112L																18	60

359

[illegible]

тельные размеры и масса ДПТ типа 4ПО приведены в табл. 10.4 и 10.5.

Предельное отклонение установочных и присоединительных размеров соответствует нормальной точности по ГОСТ 8592-79.

Для двигателей типа 4П устанавливаются следующие показатели надежности и долговечности (при работе в номинальном режиме): средний срок службы при наработке 30000 ч — не менее 12 лет; наработка обмоток — 20000 ч; вероятность безотказной работы за период 10000 ч — не менее 0,8 при доверительной вероятности 0,7; наработка щеток — 2000 ч; коэффициент готовности — 0,9.

10.2.3. Широкорегулируемые электродвигатели типа 4ПФ

Двигатели типа 4ПФ предназначены для приводов механизмов главного движения станков с ЧПУ, гибких производственных систем и роботизированных производственных комплексов. Исполнение ДПТ по степени защиты — IP23, по способу охлаждения — ИСО6 (с независимой вентиляцией); климатическое исполнение и категория размещения — УХЛ4 или О4.

В условном обозначении ДПТ после названия типа (4ПФ) указывается последовательно высота оси вращения, мм, условная длина сердечника (буквы S, M или L), наличие воздушного фильтра — буква В (при отсутствии фильтра буква опускается), расположение вентилятора (на боковой поверхности сверху — буква Б, на торцевой поверхности со стороны коллектора — буква Т), климатическое исполнение и категория размещения.

Двигатели климатического исполнения УХЛ рассчитаны на эксплуатацию на высоте над уровнем моря до 1000 м, при температуре окружающего воздуха от 1 до 35°C и относительной влажности воздуха 80 % при температуре 25°C; климатического исполнения О4 — на высоте над уровнем моря до 1000 м, при температуре окружающего воздуха от 1 до 45°C и относительной влажности 98 % при температуре 35°C. Двигатели соответствуют группе эксплуатации М8 по ГОСТ 17516-77.

Технические данные двигателей типа 4ПФ, соответствующие режиму эксплуатации S1, приведены в табл. 10.6.

Средний уровень шума (по ГОСТ 16372-84) ДПТ с номинальной частотой вращения до 900 об/мин соответствует классу 1; ДПТ с номинальной частотой вращения 900 об/мин и выше — классу 2.

Среднеквадратичное значение вибрационной скорости (по ГОСТ 16921-83) двигателей типов 4ПФ112 и 4ПФ132 при номинальной частоте вращения равно 1,12 мм/с и при максимальной частоте вращения — 1,8 мм/с, типов 4ПФ160 и 4ПФ180 при номинальной частоте вращения — 1,8 мм/с и при максимальной частоте вращения — 2,8 мм/с.

Двигатели выполнены с шихтованным магнитопроводом станины и компенсационной обмоткой, могут комплектоваться фильтром для очистки охлаждающего воздуха при независимой вентиляции.

Двигатели поставляются со встроенными тахогенераторами типа ТП80-20-0,2 (ТУ 16-516.285-83) и датчиком тепловой защиты — терморезистором типа СТ 14-1Б (ТУ ОЖО.468.130). Возбуждение ДПТ независимое, рассчитанное при последовательном соединении катушек на питание 220 В и при соединении катушек возбуждения в две параллельные ветви — на 110 В.

Класс нагревостойкости изоляции обмоток F.

Двигатели типа 4ПФ (рис. 10.9) имеют статор восьмигранного сечения, который набирается из листов электротехнической стали марки 2013 толщиной 0,5 мм. Он запрессован между двумя нажимными плитами толщиной 10 мм из стального проката. В осевом направлении пакет статора стянут шпильками и приварен в углах по накладным планкам, обеспечивающим его поперечную жесткость. В нажимных плитах выполняются центрирующие замковые поверхности и резьбовые отверстия для болтов крепления подшипниковых щитов. Обмотки статора наматываются машинным способом: параллельного возбуждения — непосредственно на полюс, компенсационная — раздельным способом путем втягивания ее в пазы. Катушки дополнительных полюсов изготавливаются традиционно — машинная шаблонная намотка и ручная установка на полюс в статоре.

Пропитка обмоток статора выполняется вакуумно-нагнетательным способом лаком УР9144. Для обеспечения интенсивной вентиляции в обмоткодержателях и в сердечнике якоря предусмотрены аксиальные каналы, а посадка коллектора и балансировочного кольца осуществлена на обмоткодержатели. Подшипниковые щиты — литые чугунные. Лапы выполняются на подшипниковых щитах. Траверса — традиционной конструкции с плоскими штырями. Щеткодержатели — радиальные безрычажные унифицированной конструкции. Щетки высокие марки ЭГ-74.

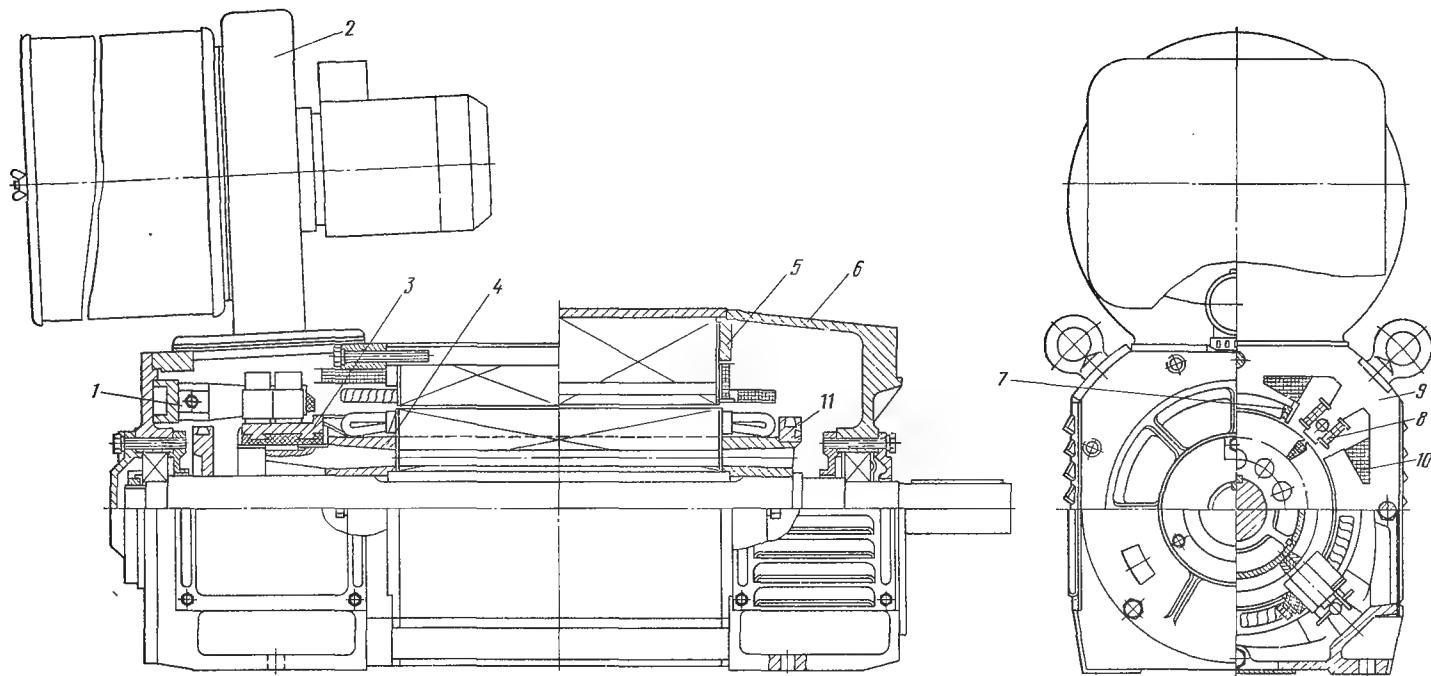


Рис. 10.9. Двигатель постоянного тока серии 4П с высотой оси вращения 180 мм типа 4ПФ:

1 — траверса; 2 — вентилятор с независимым приводом; 3 — коллектор; 4 — обмоткодержатель; 5 — нажимная плита; 6 — подшипниковый щит; 7 — обмотка компенсационная; 8 — дополнительный полюс; 9 — статор; 10 — обмотка параллельного возбуждения; 11 — балансирующее кольцо

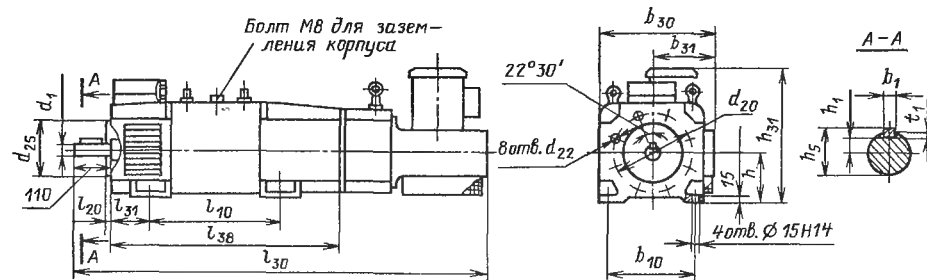
Таблица 10.6. Технические данные двигателей типа 4ПФ

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение якоря, В	Ток якоря, А	КПД, %	Номинальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин
4ПФ112S	4 3,15 2	220	24 19,8 14,5	72,3 69,3 57,6	900 750 450	5000
4ПФ112M	4,25 3		26,4 20,1	68 60,3	730 475	
4ПФ112L	3,55		24,5	60,1	425	
4ПФ132S	15 7,5 6 4,25		85,4 43,6 32,7 26,9	77,9 76 74 65	1400 1000 875 580	4500
4ПФ132M	11 8,5 8		61,5 48,6 47,3	78,5 76 68	1060 875 600	
4ПФ132L	11 8,5		62,8 54,4	76 68	800 515	
4ПФ160S	15 11		79,6 66,2	80,7 70,5	850 530	4000
4ПФ160M	15		85,6	75,3	580	
4ПФ180	17		99,4	73	500	3800
4ПФ180M	20		114,5	75	475	
4ПФ112S	7,5 5,5 4,25 3,14	440	19,2 14,9 12,6 9,9	87,1 81,4 74 69	2120 1450 975 730	5000
4ПФ112M	7,5 5,5 4,25		19,6 16,6 13,3	82,5 74,1 67,4	1450 900 690	
4ПФ112L	10 7,5 5,5		26,3 21,5 17	81,2 81 70,8	1320 975 690	
4ПФ132S	30 18,5 15 5,5		76,7 47,8 41,7 15,7	87,1 85 80 73	3070 2180 1400 800	4500
4ПФ132M	30 22 11 8,5		78,9 59,3 30 24,8	86,3 83 80 75	2300 1600 1090 800	

Продолжение табл. 10.6

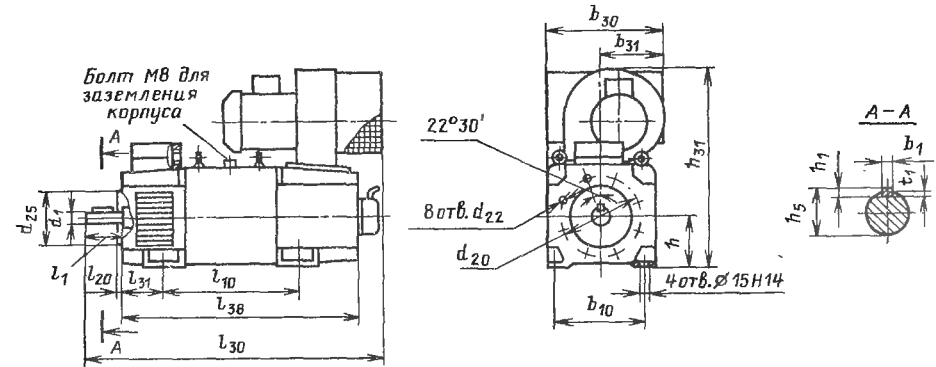
Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Ток якоря, А	КПД, %	Номинальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин
4ПФ132L	23,6 15 11	440	64,8 40,8 30,7	83 81 78	1400 1030 825	5000
4ПФ160S	30 18,5 15		78,6 48,6 42,5	84 82 76,1	1450 1090 730	4500
4ПФ160M	22 18,5		56,8 49,6	84,5 80,8	1090 775	
4ПФ160L	30 22		77 58,7	85,5 81,3	1030 775	
4ПФ180S	45 37 26,5		114 95,7 72,8	88 85 78	1450 1150 775	4500
4ПФ180M	45 37		115,6 97,6	86 83	1060 825	
4ПФ200M 4ПФ200L	55 75	440	144 191	84,9 87,3	1000 1060	4000 4000
4ПФ225M 4ПФ225L	90 110		230 282	90 87	1000	4000
4ПФ250M 4ПФ250L	132 160		336 402	87 89	1000	3500
4ПФ200M	27 45 90		27 121 226	76,2 82,2 88,6	500 750 1500	2500 3600 3600
4ПФ200L	37 55 110		104 147 275	78,6 83,3 89,1	500 750 1500	2500 3600 3600
4ПФ225M	45 132		125 230	79 89,1	500 1500	2500 3000
4ПФ225L	50 75 160		142 199 400	77,6 84 89,7	500 750 1500	2500 3000 3000
4ПФ250M	90 200		236 497	85,3 90,3	750 1500	3000
4ПФ250L	75 110 250		203 284 614	82,2 86,7 91	500 750 1500	2500 3000 3000

Таблица 10.7. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей типа 4ПФ с вентилятором, расположенным по оси двигателя



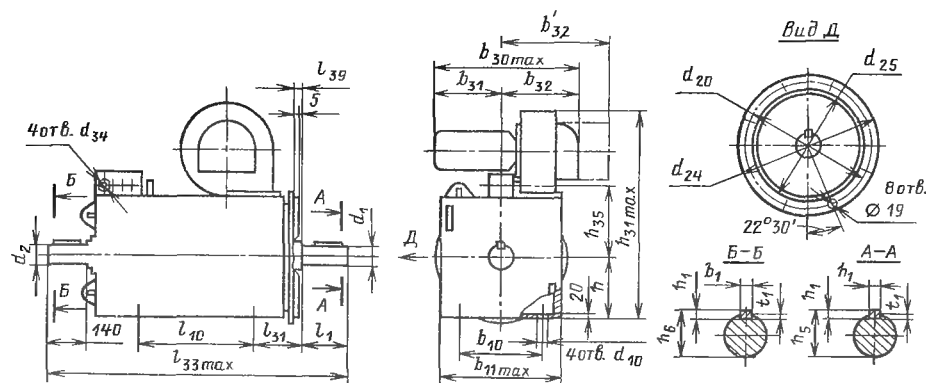
Типоразмер двигателя	Размеры, мм																		Масса, кг
	l_{10}	l_{20}	l_{30}	l_{31}	l_{38}	b_1	b_{10}	b_{30}	b_{31}	d_1	d_{20}	d_{22}	d_{25}	h	h_1	h_5	h_{31}	t_1	
4ПФ112СУХЛ4	280	3,5	881	70	460	10	190	265	145	32	165	М10	130	112	8	35	320	5	92
4ПФ112МУХЛ4	355		946		525														104
4ПФ112ЛУХЛ4	400		1006		585														121
4ПФ132СУХЛ4	315	4	1025	89	553	12	216	300	160	42	215	15	180	132	8	45	372	5	135
4ПФ132МУХЛ4	355		1085		613														162
4ПФ132ЛУХЛ4	450		1155		683														189
4ПФ160СУХЛ4	355	4	1155	108	612	14	254	390	220	48	265	15	230	160	9	51	417	5,5	242
4ПФ160МУХЛ4	400		1225		682														278
4ПФ160ЛУХЛ4	450		1265		722														300
4ПФ180ЛУХЛ4	450	5	1340	121	745	16	279	420	235	55	300	19	250	180	10	59	495	56	359
4ПФ180МУХЛ4	500		1420		825														413

Таблица 10.8. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей типа 4ПФ с вентилятором, расположенным сверху двигателя



Типоразмер двигателя	Размеры, мм																			Момент инерции, 10 ⁻² кг·м ²	Масса, кг
	l ₁	l ₁₀	l ₂₀	l ₃₀	l ₃₁	l ₃₈	b ₁	b ₁₀	b ₃₀	b ₃₁	d ₁	d ₂₀	d ₂₂	d ₂₅	h	h ₁	h ₅	h ₃₁	t ₁		
4ПФ112СУХЛ4	80	280	3,5	665	70	460	10	190	265	145	32	165	M10	130	112	8	35	430	5	4,7	90
4ПФ112МУХЛ4		355		730		525														5,6	102
4ПФ112ЛУХЛ4		400		790		585														6,3	119
4ПФ132СУХЛ4	110	315	4	790	89	553	12	216	300	160	42	215	15	180	132	8	45	500	5	9,5	132
4ПФ132МУХЛ4		355		850		613														11,6	159
4ПФ132ЛУХЛ4		450		920		683														13,5	186
4ПФ160СУХЛ4	110	355	4	860	108	612	14	254	390	220	48	265	15	230	160	9	51,5	618	5,5	25,0	239
4ПФ160МУХЛ4		400		930		682														29,0	275
4ПФ160ЛУХЛ4		450		970		722														32,5	297
4ПФ180СУХЛ4	100	450	5	1015	121	745	16	279	420	235	55	300	19	250	180	10	59	690	6	44,2	356
4ПФ180МУХЛ4		500		1095		825														57,8	410

Таблица 10.9. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей типа 4ПФ с высотой оси вращения 200—250 мм исполнения IM2002, IM2012



Типоразмер двигателя	Размеры, мм													
	b_1	b_{10}	b_{11}	b_{30}	b_{31}	b_{32}	b'_{32}	d_1	d_2	d_{10}	d_{20}	d_{24}	d_{25}	d_{34}
4ПФ200М	18	318	396	592	308	284	456	65	60	19	400	450	350	20
4ПФ200L														
4ПФ225М	20	356	446	650	318	332	584	70	70	19	500	550	450	30
4ПФ225L														
4ПФ250М	22	406	496	650	294	356	608	80	75	24	500	550	450	30
4ПФ250L														

Продолжение табл. 10.9

Типо- размер двигате- ля	Размеры, мм										Момент инерции, 10^{-2} $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	Масса, кг
	l_1	l_{10}	l_{52}	l_{33}	l_{39}	h	h_1	h_5	h_6	h_{31}	h_{35}	t_1
4ПФ200М	140	630	133	1306	$0 \pm 3,0$	200	11	69	64	810	257	7,0
4ПФ200Л		710		1386								
4ПФ225М		750	149	1450								
4ПФ225Л		800		1500								
4ПФ250М	170	750	168	1557	$0 \pm 4,0$	250	14	85	80	990	229	9,0
4ПФ250Л		800		1670								

Двигатели допускают регулирование частоты вращения напряжением якоря в диапазоне от 0 до 460 В при постоянном моменте, при этом допускается стоянка с моментом, равным половине номинального, и регулирование частоты вращения до максимальной (табл. 10.6) ослаблением поля при номинальном напряжении на якоре в диапазоне не менее 1–3 при постоянной мощности.

Двигатели выдерживают нагрузку по току при номинальной частоте вращения $1,6I_{\text{ном}}$ в течение 1 мин и $2I_{\text{ном}}$ в течение 15 с; при максимальной частоте вращения — $1,5I_{\text{ном}}$ в течение 10 с.

Двигатели обеспечивают надежную и непрерывную работу периодами по 2000 ч без непосредственного местного обслуживания с очисткой при необходимости воздушного фильтра. Периодичность очистки фильтра определяется в процессе эксплуатации.

Вероятность безотказной работы ДПТ типа 4ПФ за период 4000 ч с заменой щеток — не менее 0,95 при доверительной вероятности 0,8; средний срок службы — 12 лет; средний ресурс — 30 000 ч. Гарантийный срок — 2 года с момента начала эксплуатации, но не более 2,5 года со дня получения ДПТ потребителем.

Двигатели с высотами оси вращения 132–180 мм имеют конструктивное исполнение по способу монтажа IM2001, IM2011, IM2031, с высотой оси вращения 112 мм — IM2101, IM2111, IM2131; с высотами оси вращения от 200 до 250 мм — IM1001, IM1002, IM1011, IM1031, IM2001, IM2011, IM2031.

Двигатели допускают сочленение с приводным механизмом любым способом, обеспечивающим нормальную работу подшипников. Свободный конец вала выполняется по ГОСТ 12080-66.

Двигатели изготавливаются с подшипниками качения класса точности 6 с расчетным сроком службы не менее 12 000 ч.

Габаритные, установочные, присоединительные размеры и масса ДПТ типа 4ПФ приведены в табл. 10.7–10.9. Предельные отклонения на установочные и присоединительные размеры соответствуют ГОСТ 8592-79 для повышенной точности.

10.2.4. Крупные двигатели серии 4П для тяжелых условий эксплуатации

Двигатели предназначены для эксплуатации в электроприводах крупных металло-режущих станков, различного рода механизмов металлургического производства (манипуляторы, нажимные устройства) в условиях

значительных воздействий внешних механических факторов, с частыми пусками, остановками, реверсами, с резкими набросами и неравномерностью нагрузки; рассчитаны на питание от полупроводниковых преобразователей или от электромашинных агрегатов. Допустимый коэффициент пульсации тока — 7 % при изменении частоты вращения от номинальной до максимальной.

В условном обозначении двигателей после наименования серии (4П) последовательно указывается: высота оси вращения, мм; число щеток на коллекторе; мощность при основном напряжении, кВт; климатическое исполнение (У или Т); категория размещения.

Двигатели рассчитаны на эксплуатацию на высоте над уровнем моря до 1000 м, при температуре окружающего воздуха от 1 до 40 °С, для исполнения У и от 1 до 45 °С для исполнения Т; в окружающей невзрывоопасной среде, не содержащей токопроводной пыли в концентрациях, снижающих параметры ДПТ в недопустимых пределах. Содержание пыли в охлаждающем воздухе не должно превышать 0,4 мг/м³.

Технические данные двигателей серии 4П с высотами оси вращения 355 и 450 мм в режиме работы S1 приведены в табл. 10.10.

По согласованию с изготовителем ДПТ с высотой вращения 450 мм могут изготавливаться на напряжения 440, 750 и 930 В, с вы-

Таблица 10.10. Технические данные двигателей серии 4П с высотами оси вращения 355 и 450 мм

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин**	КПД, %
4П-355-13-110-У3 4П-355-23-110-У3 4П-355-33-110-У3 4П-355-43-110-У3	110	440	400/1400 315/1200 250/1000 200/750	85,5 84,1 82,6 80,3
4П-355-13-132-У3 4П-355-23-132-У3 4П-355-33-132-У3 4П-355-43-132-У3	132	440*	450/2000 355/2000 280/1800 224/1500	85,9 84,6 82,7 80,9
4П-355-15-200-У3 4П-355-25-200-У3 4П-355-35-200-У3 4П-355-45-200-У3	200	440*	630/2000 500/2000 400/1800 315/1500	89 87,8 86,9 85,4
4П-355-15-250-У3 4П-355-25-250-У3 4П-355-35-250-У3 4П-355-45-250-У3	250	440	800/2000 630/2000 500/1800 400/1500	90,8 90,1 89,2 88,1
4П-355-15-355-У3 4П-355-25-355-У3 4П-355-35-355-У3 4П-355-45-355-У3	355	440*	1120/2000 900/2000 750/1800 600/1500	92,2 91,6 91,2 90,5
4П-450-16-500-У3 4П-450-26-500-У3 4П-450-36-500-У3	500	600	800/1800 500/1400 315/1000	92,8 91,8 90,1
4П-450-16-630-У3 4П-450-26-630-У3 4П-450-36-630-У3	630	600	1000/1800 630/1400 400/1000	93,8 93,1 91,7
4П-450-18-800-У3 4П-450-28-800-У3 4П-450-38-800-У3	800	600	1250/1800 800/1400 500/1000	94,4 94 93,1

* Допускается работа двигателей при напряжении 600 и 750 В.

** В числителе указана номинальная частота вращения, в знаменателе — максимальная.

сотой оси вращения 355 мм — на напряжения 600 и 750 В.

Возбуждение ДПТ независимое напряжением 220 В. От обмотки возбуждения выведены четыре конца для переключения напряжения с 220 до 110 В.

Двигатели допускают перегрузку по току якоря при номинальной частоте вращения: $1,1I_{\text{ном}}$ в течение 2 ч, $1,5I_{\text{ном}}$ в течение 60 с, $2,25I_{\text{ном}}$ в течение 15 с; при максимальной частоте вращения: $1,3I_{\text{ном}}$ в течение 60 с, $1,8I_{\text{ном}}$ в течение 15 с.

Максимальная допустимая скорость изменения тока якоря равна $100I_{\text{ном}}$ в секунду.

Двигатели допускают работу в режимах S3—S8 при указанных выше значениях и длительности кратковременных перегрузок; среднеквадратичное значение тока якоря при этом не должно превышать значения, установленного для режима S1. Отключающая перегрузка по току якоря $2,5I_{\text{ном}}$.

Двигатели имеют форму исполнения IM1003 или IM1004 по ГОСТ 2479-79. Они выполняются с тахогенератором постоянно-го тока и реле скорости.

Двигатели выполнены с принудительной вентиляцией от постороннего вентилятора, не входящего в поставку предприятия-изготовителя.

Степень защиты двигателей IP44. Двигатели с принудительной вентиляцией и выходом охлаждающего воздуха через самозакрывающиеся жалюзи имеют степень защиты IP23.

Условия эксплуатации ДПТ в части воздействия механических факторов внешней среды — по группе М1 по ГОСТ 17516-77.

Уровень шума соответствует классу 1 по ГОСТ 16372-84. Допустимые значения вибрационной скорости — по ГОСТ 20815-75. Средний срок службы 20 лет. Коэффициент готовности 0,995. Гарантийный срок службы — 2 года со дня начала эксплуатации, но не более 3 лет со дня отгрузки с предприятия-изготовителя.

10.3. Машины постоянного тока серии 2П

10.3.1. Общие сведения

Серия 2П машин постоянного тока охватывает высоты осей вращения от 90 до 315 мм и диапазон мощностей от 0,37 до 200 кВт. Машины этой серии предназначены для работы в широкорегулируемых электроприводах. Машины с высотами оси вращения 90—200 мм соответствуют ТУ

16-514.211-75, машины с высотами оси вращения 225—315 мм — ТУ 16-514.230-77.

Электрические машины серии 2П заменяют машины серии П, а также специализированные машины серий ПС(Т), ПБС(Т), ПР.

По сравнению с предшествующими сериями у машин серии 2П повышена перегрузочная способность, расширены диапазон регулирования частоты вращения, улучшены динамические свойства, уменьшены шум и вибрации, повышена мощность на единицу массы, увеличены надежность и ресурс работы.

Условия эксплуатации машин серии 2П: высота над уровнем моря — до 1000 м, температура окружающего воздуха — от 5 до 40°C, относительная влажность воздуха до 80% при температуре 25°C и при более низких температурах без конденсации влаги. Окружающая среда — невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию. Воздействие механических факторов внешней среды — по группе М1 ГОСТ 17516-72.

Структура условного обозначения машин постоянного тока серии 2П:

2П	X	X	X	X	X
Т	Т	Т	Т	Т	Т
1	2	3	4	5	6

где 1 — название серии: вторая серия машин постоянного тока;

2 — исполнение по способу защиты и вентиляции: Н — защищенное с самовентиляцией, Ф — защищенное с независимой вентиляцией от постоянного вентилятора, Б — закрытое с естественным охлаждением, О — закрытое с внешним обдувом от постоянного вентилятора;

3 — высота оси вращения, мм;

4 — условное обозначение длины сердечника якоря: М — средняя, Л — большая;

5 — буква Г при наличии встроенного тахогенератора (в обозначении ДПТ без тахогенератора опускается);

6 — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

10.3.2. Двигатели постоянного тока серии 2П

Двигатели выполняются с полным числом добавочных полюсов; ДПТ с высотами оси вращения 90 и 100 мм — двухполюсные, 112 мм — четырехполюсные.

Вид защиты от воздействия окружающей среды и способы охлаждения ДПТ серии 2П приведены ниже:

Типоразмер двигателя	Степень защиты от воздействия окружающей среды	Способ охлаждения
2ПН (2ПНГ) ($h = 90 \div 315$ мм)	IP22	ICO1
2ПФ (2ПФГ) ($h = 132 \div 315$ мм)	IP22	ICO7
2ПБ (2ПБГ) ($h = 90 \div 200$ мм)	IP44	ICO040
2ПО (2ПОГ) ($h = 132 \div 200$ мм)	IP44	ICO141

У ДПТ с $h = 90 \div 200$ мм станина выполнена из отрезков цельнотянутых труб, у ДПТ с $h = 225 \div 315$ мм станины сварные, из толстолистового проката. Коробка выводов ДПТ с $h = 90$ и 100 мм расположена сбоку справа, если смотреть со стороны коллектора. Вводное устройство ДПТ с $h = 112 \div 200$ мм располагается сверху станины, а при больших высотах вращения — на торце щита со стороны коллектора, сбоку. Подшипниковые щиты — литые.

Двигатели со степенью защиты IP22 имеют центробежный реверсивный вентилятор, посаженный на вал якоря со стороны, противоположной коллектору.

Двигатели со степенью защиты IP44 имеют внешний центробежный вентилятор, который насажен на конец вала, противоположный приводу, и закрыт штампованным или сварным кожухом из листовой стали толщиной 1–2 мм (в зависимости от высоты оси вращения). Внутри таких ДПТ на валу со стороны, противоположной коллектору, размещается вентилятор-мешалка. Для привода вентилятора в ДПТ типов 2ПФ и 2ПО используется асинхронный двигатель типа 4АА56А4У3 с синхронной частотой вращения 1500 об/мин.

Соединение с приводом двигателей серии 2П производится эластичной, зубчатой или клиноременной передачей. Все ДПТ изготавливаются с рабочим концом вала со стороны, противоположной коллектору. Защищенные и закрытые ДПТ горизонтального исполнения без тахогенератора могут выполняться по согласованию с заводом-изготовителем с двумя рабочими концами вала.

Двигатели изготавливаются с независимым возбуждением. Напряжение возбуждения 110 или 220 В независимо от номинального напряжения якоря. По требованию

заказчика ДПТ могут изготавливаться со смешанным возбуждением.

Питание ДПТ может осуществляться от источника постоянного тока и от тиристорного преобразователя. При питании от тиристорного преобразователя допустимый ток якоря уменьшается в зависимости от схемы выпрямления и электромагнитной постоянной времени якорной цепи. Устойчивая работа ДПТ обеспечивается схемой управления электропривода. Средний срок службы ДПТ — 12 лет, средний ресурс — 30 000 ч. Вероятность безотказной работы ДПТ при доверительной вероятности 0,8 и наработке 2000 ч — 0,9. Срок гарантии устанавливается 2 года с момента начала эксплуатации, но не более 2,5 года со дня получения потребителем.

Двигатели типа 2П...Г выполняются с тахогенератором типа ТС1. Тахогенераторы имеют закрытое встроенное исполнение (якорь генератора жестко закреплен на валу якоря ДПТ). Возбуждение тахогенератора — от постоянных магнитов. Крутизна напряжения тахогенератора 0,033 В/(об/мин), нагрузочное сопротивление — не менее 2 кОм.

Уровень вибрации двигателей типов 2П90–2П112 соответствует классу 1,1 по ГОСТ 16921-83, типов 2П132–2П200 — классу 1,8.

Уровень шума ДПТ соответствует классу 2 по ГОСТ 16372-84. Уровень шума ДПТ типа 2ПФ с номинальной частотой вращения до 1000 об/мин включительно соответствует классу 1.

Режим работы ДПТ — продолжительный S1. По согласованию с предприятием-изготовителем ДПТ могут использоваться для работы в режимах S2–S8.

Превышение температуры обмоток при установившемся тепловом состоянии ДПТ типов 2ПН и 2ПФ соответствует классу В, а типов 2ПБ и 2ПО — классу F.

Искрение на коллекторе при любой установившейся нагрузке в пределах до номинальной в режиме S1 и в диапазоне рабочих частот вращения соответствует степени 1.

Допустимые кратковременные перегрузки по току при номинальном потоке возбуждения: для ДПТ типов 2ПН, 2ПФ, 2ПО, 2ПБ — $I_{ном}$ в течение 60 с; для типов 2ПН, 2ПФ, 2ПО — $3I_{ном}$ в течение 10 с; для типа 2ПБ — $4I_{ном}$ в течение 10 с.

Направление вращения ДПТ параллельного и смешанного возбуждения — правое или левое (по условиям заказа); ДПТ независимого возбуждения — реверсивные.

Частота вращения регулируется изменением напряжения на якоре (в сторону уменьшения) и ослаблением потока возбуждения (в сторону повышения).

Двигатели допускают длительную работу при номинальном напряжении возбуждения и с пониженной частотой вращения до 1 об/мин при токах якоря, не превышающих $I_{ном}$ для ДПТ типа 2ПФ, $(0,9 \div 1)I_{ном}$ для ДПТ типа 2ПБ, $(0,75 \div 0,85)I_{ном}$ для ДПТ типа 2ПО.

Двигатели защищенного исполнения

с самовентиляцией (2ПН) допускают работу с номинальным током якоря при снижении частоты вращения до $0,85n_{ном}$ в течение 1 ч.

Серия ДПТ охватывает диапазон напряжений от 110 до 440 В и частот вращения от 500 до 3000 об/мин.

Технические данные ДПТ серии 2П даны в табл. 10.11, 10.12. Габаритные, установочные и присоединительные размеры ДПТ серии 2П приведены в табл. 10.13–10.17 и на рис. 10.10–10.12.

Таблица 10.11. Технические данные двигателей серии 2П с высотами оси вращения 90–200 мм

Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопrotивление обмотки при 15°С, Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
		номинальная	максимальная		якоря	дополнительных полюсов	возбуждения	
0,17	110	750	3000	47,5	5,84	4,40	610	128
	220	750	1500	48,5	27,2	16,2	162	514
0,25	110	1060	4000	56	3,99	2,55	610	78,7
	220	1120	2000	57	15,47	11,2	162	297
0,37	110	1500	3000	61,5	2,52	1,47	610	48
	220	1500	2250	61,5	10,61	6,66	162	190
0,71	110	2360	4000	69,5	1	0,54	470	18
	220	2360	3540	70	3,99	2,55	123	79
1	110	3000	4000	71,5	0,6	0,35	365	12
	220	3000	4000	72,5	2,52	1,47	92	48

Тип 2ПН90МУХЛ4, 2ПН90МГУХЛ4

0,2	110	750	3000	54	4,51	2,99	555	106
	220	800	1500	54,5	17,5	13,13	145	430
0,34	110	1060	4000	60	2,85	1,731	555	64,5
	220	1000	2000	60	12,2	7,96	145	264
0,55	110	1500	4000	67,5	1,3	0,932	432	33
	220	1500	4300	67,5	5,44	3,89	112	132
0,9	110	2000	4000	73	0,644	0,4	340	14,6
	220	2120	4000	73	2,85	1,731	87	64
1,3	110	3150	4000	76	0,355	0,257	340	8,2
	220	3150	4000	78	1,3	0,932	87	33

Тип 2ПБ90МУХЛ4, 2ПБ90МГУХЛ4

0,13	110	800	3000	49,5	7,48	4,79	810	173
	220	750	1500	47,5	34,0	20,37	222	694
0,18	110	1000	4000	54,5	5,41	3,47	810	122
	220	1000	2000	55,5	21,77	13,31	222	490

Продолжение табл. 10.11

Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15 °С, Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
		номинальная	максимальная		якоря	добавочных полюсов	возбуждения	
0,28	110	1600	4000	63,5	2,69	1,85	810	62
	220	1500	3000	63,5	11,7	7,35	222	267
0,4	110	2360	4000	69,5	1,46	0,87	810	34
	220	2200	4000	58,5	6,84	4,40	222	147
0,55	110	3000	4000	71,0	1	0,58	810	21
	220	3000	4000	71,0	3,99	2,55	222	82

Тип 2ПБ90ЛУХЛ4, 2ПБ90ЛГУХЛ4

0,18	110	750	3000	53	5,44	3,89	720	150
	220	750	1500	53	23,55	15	192	610
0,25	110	1000	4000	58,5	4,01	2,3	720	96
	220	1120	2000	61,5	13,25	8,65	192	360
0,37	110	1500	4000	66	2,1	1,297	720	54
	220	1500	3000	67,5	7,74	5,17	192	199
0,53	110	2200	4000	72	1,13	0,687	720	28
	220	2240	4000	73	4,26	2,84	192	108
0,75	110	3000	4000	78,5	0,644	0,4	720	17
	220	3150	4000	77	2,28	1,609	192	63

Тип 2ПН100МУХЛ4, 2ПН100МГУХЛ4

0,37	110	750	3000	60	2,69	1,62	470	89
	220	750	1500	59,5	11,78	6,7	120	343
0,5	110	1000	4000	65	1,79	0,93	470	53
	220	1000	2000	66	7,05	4,62	120	222
0,75	110	1500	4000	71	0,805	0,57	359	26
	220	1500	4300	71,5	3,4	2,05	103	104
1,2	110	2120	4000	75	0,436	0,355	359	14
	220	2200	4000	76,5	1,792	0,93	103	53
2	110	3000	4000	78,5	0,201	0,135	265	6,6
	220	3000	4000	79	0,805	0,57	73	26

Тип 2ПН100ЛУХЛ4, 2ПН100ЛГУХЛ4

0,42	110	750	3000	60,5	2,05	1,28	397	71
	220	750	1500	61,5	7,87	6,2	114	286
0,63	110	1000	4000	67	1,17	0,853	397	42,3
	220	1060	2000	67	4,92	3,52	114	169
1,1	110	1500	4000	72,5	0,52	0,51	295	21
	220	1500	4300	74	2,2	1,57	81	83
1,7	110	2200	4000	77	0,294	0,235	295	10,6
	220	2200	4000	78	1,17	0,853	81	42
2,2	110	3000	4000	79,5	0,16	0,146	295	5,7
	220	3150	4000	81	0,52	0,51	81	21

Продолжение табл. 10.11

Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопروتивление обмотки при 15°С, Ом			Индук- тивность цепи якоря, мГн
		номи- нальная	макси- мальная		якоря	добавочных полюсов	возбуж- дения	
Тип 2ПБ100МУХЛ4, 2ПБ100МГУХЛ4								
0,26	110	750	3000	58,5	3,4	2,05	<u>595</u>	120
	220	800	1500	60,6	12,76	8,35	153	461
0,37	110	1000	4000	66	1,99	1,22	<u>595</u>	78
	220	1000	2000	65,5	8,49	5,14	153	313
0,6	110	1500	4000	72	1,083	0,659	<u>595</u>	40
	220	1600	3000	72,5	4,38	2,62	153	150
0,85	110	2300	4000	77	0,48	0,374	<u>595</u>	20
	220	2360	4000	78	1,99	1,22	153	78
1,2	110	3150	4000	79	0,331	0,192	<u>595</u>	11
	220	3150	4000	80	1,325	0,7	153	45

Тип 2ПН112МУХЛ4, 2ПН112МГУХЛ4

0,6	110	800	3000	59	1,29	1,12	233	13,9
	220	800	2500	60,5	5,07	4,5	61,4	58
0,85	110	1060	4000	63	0,788	0,682	233	9,3
	220	950	3500	64	3,85	3,08	61,4	44
1,5	110	1500	4000	70	0,42	0,355	181	4,8
	220	1500	4000	70	1,77	1,55	44	19,5
2,5	110	2120	4000	76	0,196	1,134	156	2,3
	220	2200	4000	76	0,788	0,682	39,4	9,3
3,6	110	3150	4000	78,5	0,084	0,089	129	1
	220	3000	4000	79	0,42	0,356	33,6	4,8

Тип 2ПН112ЛУХЛ4, 2ПН112ЛГУХЛ4

0,8	110	750	3000	62,5	0,968	0,848	235	13,9
	220	750	2500	63,5	3,68	3,42	57,5	52,5
1,25	110	1060	4000	68,5	0,517	0,444	202	7,2
	220	1000	3500	68	2,34	2,04	52	34
2,2	110	1500	4000	74,5	0,242	0,195	168	3,5
	220	1500	4000	75	0,968	0,848	44	14
3,4	110	2240	4000	76	0,103	0,11	125	1,5
	220	2200	4000	78	0,413	0,411	33,5	6,2
5,3	110	3350	4000	79,5	0,46	0,051	96,3	1,5
	220	3000	4000	80	0,242	0,195	25,3	3,5

Тип 2ПБ112МУХЛ4, 2ПБ112МГУХЛ4

0,34	110	800	3000	60,5	1,91	1,65	403	26
	220	750	2500	59,5	8,72	7,07	111	106

Продолжение табл. 10.11

Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15°C, Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
		номинальная	максимальная		якоря	добавочных полюсов	возбуждения	
0,45	110	1060	4000	64,5	1,29	1,12	403	16
	220	1060	3500	66	5,07	4,5	111	66
0,75	110	1500	4000	70	0,565	0,565	303	7,4
	220	1500	4000	71	2,48	2,13	84,3	31
1,1	110	2200	4000	74	0,308	0,304	303	4
	220	2200	4000	75	1,29	1,12	84,3	16
1,4	110	3000	4000	78,5	0,196	0,134	403	2,7
	220	3000	4000	78,5	0,788	0,682	111	11

Тип 2ПБ112ЛУХЛ4, 2ПБ112ЛГУХЛ4

0,5	110	800	3000	65	1,18	0,892	303	18
	220	800	2500	65,5	4,74	3,79	80	74
0,63	110	1000	4000	68,5	0,74	0,74	303	12
	220	1060	3500	68,5	3,13	3,16	80	50
1	110	1600	4000	74	0,378	0,378	303	5,9
	220	1500	4000	75	1,66	1,45	80	26
1,5	110	2240	4000	79	0,139	0,128	303	3
	220	2240	4000	80	0,74	0,74	80	12
2	110	3000	4000	81	0,103	0,11	303	1,8
	220	3150	4000	81	0,413	0,411	80	7,1

Тип 2ПН132МУХЛ4, 2ПН132МГУХЛ4

1,6	110	750	3000	68	0,472	0,308	134	9,7
	220	750	2500	68,5	1,88	1,39	35	38,6
2,5	110	1000	4000	72	0,271	0,204		5,7
	220	1000	3000	73,5	1,08	0,763	134	22,9
	440	1000	2500	73	4,54	3,26	35	91,5
4	110	1500	4000	77,5	0,14	0,094		2,8
	220	1500	4000	79	0,564	0,336	134	11
	440	1500	3750	79	2,28	1,44	35	42
7	110	2200	4000	81	0,067	0,049	111	1,4
	220	2240	4000	83	0,226	0,166		4,6
	440	2240	4000	83	0,906	0,692	25,6	18
10,5	220	3000	4000	84	0,14	0,094	111	2,8
	440	3000	4000	85	0,564	0,336	25,6	11

Тип 2ПН132ЛУХЛ4, 2ПН132ЛГУХЛ4

1,9	110	750	3000	71	0,322	0,27	138	7,1
	220	750	2500	72	1,28	1		28,3
	440	750	1850	70,5	6,42	4,45	37,5	119
3	110	950	4000	74,5	0,22	0,196	138	4,5
	220	1000	4000	75,5	0,88	0,64		18,1
	440	1000	3750	76,5	3,38	2,16	37,5	68

Продолжение табл. 10.11

Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15 °С, Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
		номинальная	максимальная		якоря	добавочных полусов	возбуждения	
5,5	110	1500	4000	80	0,08	0,066	101	1,8
	220	1500	4000	80,5	0,322	0,27	7	7
	440	1600	3750	81	1,28	1	27,8	28
8,5	220	2200	4000	84	0,167	0,124	89	3,5
	440	2240	4000	84,5	0,67	0,445	25	14
14	220	3150	4000	86	0,08	0,066	76	1,8
	440	3150	4000	86,5	0,322	0,27	20,6	7

Тип 2ПБ132МУХЛ4, 2ПБ132МГУХЛ4

1,1	110	750	3000	64	0,564	0,336	202	13
	220	800	2500	67	2,44	1,53	54,5	55
	440	800	1850	66,5	10,45	6,48	54,5	227
1,6	110	1060	4000	71	0,346	0,224	202	7,9
	220	1000	3000	70,5	1,38	1	54,5	32
	440	1060	2500	71,5	5,92	3,68	54,5	132
2,4	110	1600	4000	76,5	0,185	0,148	202	4,2
	220	1600	4000	77	0,74	0,486	54,5	16,7
	440	1600	3750	76,5	2,85	1,64	54,5	62
3,7	110	2200	4000	79,5	0,104	0,059	202	2,4
	220	2360	4000	81	0,346	0,224	54,5	7,9
	440	2120	4000	80,5	1,38	1	54,5	32
4,5	110	3150	4000	81	0,046	0,029	202	1
	220	3150	4000	81,5	0,185	0,148	54,5	4,2
	440	3150	4000	82	0,74	0,486	54,5	16,7

Тип 2ПБ132ЛУХЛ4, 2ПБ132ЛГУХЛ4

1,3	110	800	3000	73	0,412	0,296	216	9,8
	220	800	2500	72	1,98	1,38	50	43
	440	800	1850	73,5	7,05	4,86	50	163
1,9	110	1060	4000	76	0,269	0,22	216	6,5
	220	1060	3000	76,5	1,08	0,915	50	26
	440	1120	2500	78	4,05	2,82	50	99
3,2	110	1600	4000	82	0,12	0,089	216	2,9
	220	1600	4000	82,5	0,518	0,323	50	11,6
	440	1600	3750	82,5	2,02	1,67	50	46
4,5	110	2360	4000	84	0,055	0,039	189	1,3
	220	2200	4000	84	0,269	0,22	43	6,5
	440	2360	4000	85	0,88	0,64	43	21
5,3	220	3000	4000	85,5	0,167	0,124	216	4
	440	3150	4000	85,5	0,562	0,407	50	13,6

Тип 2ПО132МУХЛ4, 2ПО132МГУХЛ4

1,3	110	800	3000	65,5	0,472	0,308	175	11
	220	800	2500	66,5	1,88	1,39	46,5	44
	440	800	1850	66,5	9,1	5,3	46,5	205

Продолжение табл. 10.11

Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15°C, Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
		номинальная	максимальная		якоря	добавочных полусов	возбуждения	
1,8	110	1000	4000	70	0,346	0,224	$\frac{175}{46,5}$	$\frac{7,9}{32}$
	220	1000	3000	64,5	1,38	1		
2,8	110	1500	4000	75,5	0,14	0,094	$\frac{175}{46,5}$	$\frac{4,2}{15}$
	220	1500	4000	76,5	0,601	0,454		
	440	1500	3750	77	2,53	1,58		59
4,5	110	2200	4000	80,5	0,067	0,049	$\frac{175}{46,5}$	$\frac{1,6}{6,5}$
	220	2240	4000	81	0,271	0,204		
	440	2240	4000	81	1,08	0,763		26
5,5	220	3000	4000	83	0,185	0,148	$\frac{175}{46,5}$	$\frac{4,2}{16,7}$
	440	3000	4000	83	0,74	0,486		

Тип 2ПО132ЛУХЛ4, 2ПО132ЛГУХЛ4

1,6	110	800	3000	71	0,322	0,27	$\frac{138}{37,4}$	$\frac{8,1}{36}$
	220	750	2500	71	1,57	1,06		
	440	750	1850	70,5	6,42	4,45		136
2,2	110	1000	4000	74	0,22	0,196	$\frac{138}{37,4}$	$\frac{5,2}{21}$
	220	1000	3000	75,5	0,88	0,64		
	440	1000	2500	75,5	3,84	2,66		88
3,4	110	1500	4000	79	0,12	0,089	$\frac{138}{37,4}$	$\frac{2,9}{9,8}$
	220	1600	4000	81	0,412	0,296		
	440	1500	3750	80	1,98	1,38		43
5,3	110	2200	4000	83,5	0,055	0,039	$\frac{138}{37,4}$	$\frac{1,3}{5,2}$
	220	2200	4000	83,5	0,22	0,196		
	440	2240	4000	84,5	0,88	0,64		21
6,7	220	3000	4000	86	0,12	0,089	$\frac{138}{37,4}$	$\frac{2,9}{11,6}$
	440	3000	4000	86,5	0,518	0,323		

Тип 2ПФ132МУХЛ4, 2ПФ132МГУХЛ4

2	110	750	3750	68	0,435	0,244	$\frac{134}{35}$	$\frac{8,2}{33}$
	220	750	2500	67	1,693	1,26		
	440	800	1850	71,5	6,28	3,94		132
3	110	1060	4000	73,5	0,226	0,166	$\frac{134}{35}$	$\frac{4,6}{18,5}$
	220	1060	3000	74	0,906	0,692		
	440	1060	2500	73	4,06	2,97		74
4	110	1500	4200	77,5	0,14	0,094	$\frac{111}{25,6}$	$\frac{2,8}{9,7}$
	220	1500	4200	80,5	0,472	0,308		
	440	1500	3750	82,5	1,88	1,39		38,6
6	110	2200	4000	83	0,067	0,049	$\frac{175}{46}$	$\frac{1,4}{11}$
	220	2360	4000	83,5	0,226	0,166		
	440	2360	4000	85	0,906	0,692		18,5
7,5	220	3000	4000	85	0,14	0,094	$\frac{111}{25,6}$	$\frac{2,85}{11}$
	440	3000	4000	85	0,546	0,336		

Продолжение табл. 10.11

Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопروتивление обмотки при 15 °С. Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
		номинальная	максимальная		якоря	добавочных полюсов	возбуждения	
Тип 2ПФ132ЛУХЛ4, 2ПФ132ЛГУХЛ4								
2,8	110	750	3750	66,5	0,269	0,22	89	5,7
	220	750	2500	67	1,08	0,915	25	23
	440	750	1850	69	4,05	2,92	76 20,6	86
4,2	110	950	4000	72	0,167	0,124	76	3,5
	220	1000	3000	73	0,67	0,445	20,6	14
	440	1000	2500	73	2,8	1,96	20,6	55
5,5	110	1500	4200	79	0,08	0,066	76	1,8
	220	1600	4200	80,5	0,269	0,22	20,6	5,7
	440	1600	3750	80,5	1,08	0,915	20,6	23
7,5	110	2200	4000	83	0,055	0,039	167 43	1,1
	220	2120	4000	83,5	0,167	0,124	76	3,5
	440	2200	4000	86	0,67	0,445	20,6	13,8
11	220	3000	4000	85,5	0,08	0,066	76	1,8
	440	3150	4000	86,5	0,322	0,27	20,6	7,1

Тип 2ПН160МУХЛ4, 2ПН160МГУХЛ4

3	110	750	3000	75,5	0,138	0,135	128	5,04
	220	750	2500	76,5	0,732	0,485	20,2	20,2
	440	750	1850	76	3,15	2,21	34,3	85
4,5	110	950	4000	78,5	0,11	0,078	108	3,1
	220	1000	3000	79,5	0,411	0,304	26,8	10,5
	440	950	2500	79	1,78	1,44	26,8	48,8
7,5	110	1600	4000	83	0,037	0,024	82	1
	220	1500	4000	83	0,183	0,135	21,9	5
	440	1500	3750	84	0,732	0,485	21,9	20
13	220	2120	4000	85,5	0,081	0,056	61,5	2,2
	440	2360	4000	86,5	0,279	0,175	16,4	7,5
18	220	3150	4000	87	0,037	0,024	53,1	1
	440	3150	4000	87,5	0,145	0,101	12,6	4

Тип 2ПН160ЛУХЛ4, 2ПН160ЛГУХЛ4

4	110	750	3000	77,5	0,13	0,102	117	4,25
	220	800	2500	78,5	0,486	0,389	32,8	14,7
	440	750	1850	78,5	2,02	1,8	32,8	63
6,3	110	1000	4000	80,5	0,069	0,049	87,6	2,2
	220	1000	3000	81,5	0,278	0,196	23,6	8,7
	440	1060	2500	82	0,485	0,842	23,6	31
11	220	1500	4000	85,5	0,096	0,073	65,3	3,1
	440	1600	3750	85,5	0,385	0,364	17,7	12,5
16	220	2360	4000	86,5	0,044	0,031	49,4	1,4
	440	2360	4000	87,5	0,171	0,131	13,4	5,5

Продолжение табл. 10.11

Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15°C, Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
		номинальная	максимальная		якоря	добавочных полюсов	возбуждения	
24	220	3150	4000	88	0,024	0,017	49,4	0,8
	440	3150	4000	89	0,096	0,073	13,4	3

Тип 2ПБ160МУХЛ4, 2ПБ160МГУХЛ4

2,1	110	800	3000	77	0,235	0,151	<u>177</u>	7,1
	220	750	2500	76,5	0,99	0,72		31
	440	800	1850	77	3,94	2,77	46,4	114
2,5	110	1000	4000	80,5	0,145	0,101	<u>177</u>	4,6
	220	1000	3000	80	0,59	0,43		18
	440	1120	2500	81	2,06	1,785	46,4	64
4,2	110	1500	4000	83,5	0,081	0,056	<u>177</u>	2,6
	220	1500	4000	84,5	0,326	0,208	<u>46,4</u>	10
	440	1600	3750	85,5	0,99	0,72	<u>201</u>	31
6							<u>53</u>	
	220	2120	4000	86,5	0,145	0,101	<u>177</u>	4,5
	440	2200	4000	87	0,59	0,43	46,5	18
7,1	220	3000	4000	85,5	0,081	0,056	<u>201</u>	2,6
	440	3000	4000	86,5	0,326	0,208	53,1	10,2

Тип 2ПБ160ЛУХЛ4, 2ПБ160ЛГУХЛ4

2,5	110	750	3000	78,5	0,171	0,131	<u>181</u>	6,3
	220	800	2500	79,5	0,609	0,526		22
	440	800	2000	79	2,71	2,4	49,4	95
3,2	110	1060	4000	82	0,096	0,073	<u>181</u>	3,6
	220	1060	3000	82,5	0,385	0,364		14
	440	1060	2500	83	1,54	1,36	49,4	57
5,3	220	1500	4000	85,5	0,216	0,175	<u>181</u>	8
	440	1500	3750	86,5	0,816	0,6	49,4	29
7,5	220	2240	4000	88	0,096	0,073	<u>181</u>	3,6
	440	2240	4000	88	0,385	0,364	49,4	14
8,1	220	3350	4000	86,5	0,044	0,031	<u>181</u>	1,6
	440	3000	4000	88	0,216	0,175	49,4	8

Тип 2ПО160МУХЛ4, 2ПО160МГУХЛ4

2,5	110	750	3000	75	0,235	0,151		7,1
	220	750	2500	76,5	0,836	0,647	<u>148</u>	26
	440	800	1850	77,5	3,15	2,21	<u>40,7</u>	97
3,2	110	1120	4000	80,5	0,11	0,078		3,5
	220	1000	3000	79,5	0,516	0,407	<u>148</u>	16
	440	1120	2500	81	1,78	1,44	<u>40,7</u>	56
6	220	1600	4000	84,5	0,235	0,151	<u>148</u>	7,1
	440	1500	3750	84,5	0,99	0,72	<u>40,7</u>	31
	110	2240	4000	86	0,037	0,024	<u>201</u>	1,1
							<u>53</u>	
8	220	2240	4000	86,5	0,145	0,101	<u>148</u>	4,6
	440	2200	4000	86,5	0,51	0,407	<u>40,7</u>	16

Продолжение табл. 10.11

Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопروتивление обмотки при 15 °С, Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
		номинальная	максимальная		якоря	добавочных полосов	возбуждения	
9,5	110	3000	4000	86	0,02	0,018	$\frac{201}{53}$	0,64
	220	3000	4000	87,5	0,081	0,056	$\frac{148}{40,7}$	2,6
	440	3000	4000	88	0,278	0,175		8,6

Тип 2ПО160ЛУХЛ4, 2ПО160ЛГУХЛ4

3,2	110	750	3000	78	0,13	0,12	$\frac{117}{32,8}$	4,9
	220	750	2500	79	0,525	0,414		19
	440	750	1850	78,5	2,27	1,87	$\frac{130}{32,7}$	78
4	110	950	4000	80,5	0,096	0,073	$\frac{117}{32,8}$	3,6
	220	1000	3000	82	0,328	0,227		12
	440	1000	2500	82	1,31	1,45	$\frac{117}{32,8}$	48
7,1	110	1500	4000	85	0,044	0,031	$\frac{130}{32,7}$	1,6
	220	1500	4000	85,5	0,171	0,131		6,3
	440	1500	3750	86	0,609	0,526	$\frac{117}{32,8}$	22
10	220	2360	4000	88,5	0,069	0,049	$\frac{117}{32,8}$	2,5
	440	2120	4000	88,5	0,328	0,227		12
	220	3000	4000	89	0,044	0,031	$\frac{117}{32,8}$	1,6
12	440	3000	4000	89,5	0,171	0,131		6,3

Тип 2ПФ160МУХЛ4, 2ПФ160МГУХЛ4

4,2	110	800	3750	74,5	0,11	0,078	$\frac{53,1}{12,6}$	3,1
	220	750	2500	73	0,516	0,407		14
	440	750	1850	73	2,06	1,785	$\frac{53,1}{12,6}$	56
6	110	1000	4000	78	0,081	0,056	$\frac{82}{21,9}$	2,2
	220	1000	3000	79	0,326	0,208		9
	440	1000	2500	79	1,304	1,05	$\frac{82}{21,9}$	46
7,5	220	1500	4200	83	0,145	0,101	$\frac{53,1}{12,6}$	4
	440	1600	3750	83,5	0,516	0,407		14
	220	2240	4000	87	0,081	0,056	$\frac{82}{21,9}$	2,2
13	440	2240	4000	87	0,278	0,175	$\frac{53,1}{12,6}$	7,5
	220	3150	4000	87	0,037	0,024	$\frac{53,1}{12,6}$	0,99
	440	3150	4000	88	0,145	0,101		4

Тип 2ПФ160ЛУХЛ4, 2ПФ160ЛГУХЛ4

5,6	110	750	3750	76	0,096	0,073	$\frac{65,3}{17,1}$	3,1
	220	800	2500	77,5	0,328	0,227	$\frac{49,4}{13,4}$	10,5
	440	800	1850	76,5	1,31	1,45		42
8	220	1000	3000	80	0,216	0,175	$\frac{49,4}{13,4}$	7
	440	1060	2500	81	0,816	0,6		25

Продолжение табл. 10.11

Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15°C, Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
		номинальная	максимальная		якоря	добавочных полюсов	возбуждения	
11	110	1500	4200	84	0,024	0,017	49,4	0,78
	220	1500	4200	84,5	0,096	0,073	13,4	3,1
	440	1500	3750	84,5	0,385	0,364	13,4	12,5
16	220	2360	4000	87	0,044	0,031	49,4	1,4
	440	2360	4000	88,5	0,171	0,131	13,4	5,6
18,5	220	3150	4000	87,5	0,024	0,017	49,4	0,78
	440	3150	4000	88,5	0,096	0,073	13,4	3,1

Тип 2ПН180МУХЛ4, 2ПН180МГУХЛ4

а

5,6	110	750	3000	78,5	0,084	0,056	74,8	2,73
	220	750	2500	79	0,338	0,221	17,5	10,9
	440	750	1850	79,5	1,5	0,825	17,5	47
8	110	1000	3500	81,5	0,058	0,037	98	1,9
	220	1060	3000	83	0,181	0,122	23	6,1
	440	1000	2500	82	0,902	0,54	74,8	27
15	110	1500	3500	85,5	—	—	17,5	—
	220	1500	4000	85,5	0,084	0,056	98	2,7
	440	1500	3500	86	0,338	0,221	23	11
26	220	2240	3500	88	0,038	0,025	15	1,2
	440	2240	3500	89	0,15	0,092	49,2	4,9
	220	3000	3500	89,5	0,022	0,015	12,8	0,68
37	440	3150	3500	79,5	0,084	0,056	55,5	2,7
							12,8	

Тип 2ПН180ЛУХЛ4, 2ПН180ЛГУХЛ4

7,1	110	750	3000	80	0,065	0,044	64	2,25
	220	750	2500	80,5	0,26	0,183	17,3	9
	440	750	1800	82,5	1,06	0,67	17,3	36
10	110	1000	3500	82,5	0,042	0,03	72,5	1,4
	220	1000	3000	82,5	0,168	0,11	20,1	5,6
	440	1000	2500	83,5	0,585	0,482	64	20
18,5	220	1500	3500	87	0,065	0,044	17	2,2
	440	1600	3500	87,5	0,26	0,183	17	9
30	440	2200	3500	89	0,136	0,084	46,7	4,4
							13	
42	440	3000	3500	90,5	0,065	0,044	46,7	2,2
							13	

Продолжение табл. 10.11

Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15°C, Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
		номинальная	максимальная		якоря	добавочных полусов	возбуждения	

Тип 2ПБ180МУХЛ4, 2ПБ180МГУХЛ4

3,4	110	800	3000	80,5	0,121	0,071	<u>150</u>	4,2
	220	800	2500	81	0,486	0,296		17
	440	800	1850	81,5	1,95	1,17	40,9	68
4,5	110	1000	3500	82,5	0,084	0,056	<u>177</u>	3,1
	220	1000	3000	83,5	0,338	0,221		12,5
	440	950	2500	84	1,5	0,825	49,2	54
7,1	110	1500	3500	86	0,038	0,025	<u>177</u>	1,4
	220	1500	3500	86,5	0,15	0,092		5,5
	440	1500	3500	86	0,688	0,482	49,2	25
9,5	110	2120	3500	87	0,022	0,015	<u>197</u>	0,78
	220	2200	3500	88	0,084	0,056		3,1
	440	2200	3500	88,5	0,338	0,221	49,2	12
12	220	3350	3500	87,5	0,038	0,025	<u>197</u>	1,4
	440	3000	3500	88,5	0,181	0,122	49,2	7

Тип 2ПБ180ЛУХЛ4, 2ПБ180ЛГУХЛ4

4,2	110	750	3000	81	0,094	0,067	<u>131</u>	3,7
	220	750	2500	81,5	0,378	0,263		15
	440	750	1850	82	1,69	0,981	34,7	64
5,6	110	1000	3500	83,5	0,065	0,044	<u>152</u>	2,6
	220	1000	3000	84	0,26	0,183	40,2	10,2
	440	1000	2500	84,5	0,99	0,644	131	37
8,5	110	1600	3500	86,5	0,025	0,018	<u>34</u>	0,92
	220	1600	3500	87,5	0,094	0,067	131	3,7
	440	1500	3500	87,5	0,44	0,326	34,7	17
11	220	2200	3500	89	0,065	0,044	<u>174</u>	2,6
	440	2200	3500	89,5	0,26	0,183	40,2	10,2

Тип 2ПО180МУХЛ4, 2ПО180МГУХЛ4

4,5	110	750	3000	79	0,121	0,071	<u>114</u>	4,2
	220	750	2500	79,5	0,486	0,292		17
	440	750	1850	80	1,95	1,17	30,2	68
6,3	110	1000	3500	82	0,058	0,037	<u>85,9</u>	2,2
	220	1000	3000	82,5	0,232	0,154		8,7
	440	1060	2500	83,5	0,902	0,54	23,1	31
10	110	1500	3500	85,5	0,038	0,025	<u>150</u>	1,4
	220	1500	3500	86,5	0,121	0,071		4,2
	440	1500	3500	88,5	0,486	0,296	23,1	17
14	220	2120	3500	89	0,058	0,037	<u>98</u>	2,2
	440	2120	3500	89	0,232	0,154	23,1	8,7
17	220	3000	3500	89	0,038	0,025	<u>132</u>	1,4
	440	3000	3500	90	0,15	0,092	35	5,6

Продолжение табл. 10.11

Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15 °С, Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
		номинальная	максимальная		якоря	добавочных полюсов	возбуждения	
Тип 2ПО180ЛУХЛ4, 2ПО180ЛГУХЛ4								
5,2	110	800	3000	80,5	0,065	0,044	<u>72,5</u>	2,6
	220	800	2500	81,5	0,26	0,183	<u>10,3</u>	10,3
	440	800	1850	82,0	1,06	0,67	<u>20,1</u>	41
7,5	110	1000	3500	83	0,042	0,03	<u>72,5</u>	1,6
	220	1000	3000	84	0,168	0,11	<u>6,6</u>	6,6
	440	1120	2500	84,5	0,585	0,462	<u>20,1</u>	23
16	220	2120	3500	89	0,042	0,03	<u>72,5</u>	1,6
	440	2120	3500	89,5	0,168	0,11	<u>20,1</u>	6,6
20	220	3000	3500	90	0,025	0,018	<u>98,5</u>	0,92
	440	3150	3500	81	0,094	0,067	<u>26,6</u>	3,7

Тип 2ПФ180МУХЛ4, 2ПФ180МГУХЛ4

9	110	800	3300	77	0,058	0,037	<u>41</u> 11	1,9
	220	750	2500	76,5	0,286	0,206	<u>49,2</u>	22
	440	750	1850	77,5	1,15	0,72	<u>12,8</u>	37
12	110	1060	3500	81	0,038	0,025	<u>49,2</u>	1,2
	220	1060	3300	82	0,15	0,092	<u>4,9</u>	4,9
	440	1000	2500	81	0,688	0,482	<u>12,8</u>	22
15	110	1500	3500	84	0,022	0,015	<u>49,2</u>	0,68
	220	1500	3500	85,5	0,084	0,056	<u>2,7</u>	2,7
	440	1500	3500	85,5	0,338	0,221	<u>12,8</u>	10,9
26	220	3150	3500	89	0,022	0,015	<u>49,2</u>	0,68
	440	3150	3500	89,5	0,084	0,056	<u>12,8</u>	2,7

Тип 2ПФ180ЛУХЛ4, 2ПФ180ЛГУХЛ4

10	110	750	3300	77,5	0,065	0,044	<u>72</u> 20	2,2
	220	750	2500	79	0,203	0,145	<u>46,7</u>	7,3
	440	750	1850	78	0,99	0,644	<u>13</u>	32
14	220	1000	3300	82	0,136	0,084	<u>46</u> 13	4,4
	440	1000	2500	83	0,585	0,462	<u>72</u> 20	20
18,5	220	1500	3500	87	0,065	0,044	<u>46,7</u>	2,2
	440	1500	3500	87	0,26	0,183	<u>13</u>	9
25	220	2120	3500	89	0,042	0,03	<u>86</u> 23	0,81
	440	2200	3500	89,5	0,136	0,084	<u>46</u> 13	4,4
32	440	3150	3500	90,5	0,065	0,044	<u>46,7</u> 13,0	2,2

Продолжение табл. 10.11

Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15 °С, Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
		номинальная	максимальная		якоря	добавочных полусов	возбуждения	

Тип 2ПН200МУХЛ4, 2ПН200МГУХЛ4

8,5	110	800	3000	81	0,047	0,029	61,6	1,59
	220	800	2500	82	0,188	0,116	17,1	6,4
	440	800	1850	82	0,796	0,506	17,1	25,5
13	110	1120	3500	84	0,026	0,016	61,6	0,9
	220	1120	3000	85	0,106	0,061	17,1	3,6
	440	1000	2500	84,5	0,485	0,303	17,1	16,8
22	220	1500	3500	87,5	0,047	0,029	53 15	1,6
	440	1500	3500	87,5	0,246	0,13	61 17	8,1
	440	2200	3500	88,5	0,026	0,016	46	0,9
36	220	2200	3500	89,5	0,106	0,061	13,1	3,6
	440	2200	3500	89,5	0,106	0,061	13,1	3,6
60	440	3150	3500	90,5	0,047	0,029	35 8,8	1,6

Тип 2ПН200ЛУХЛ4, 2ПН200ЛГУХЛ4

11	110	800	3000	83	0,031	0,02	55	1,16
	220	800	2500	84	0,125	0,08	15,9	4,6
	440	750	1850	83,5	0,565	0,393	15,9	21,8
16	220	1000	3000	86	0,083	0,053	55	3,2
	440	1000	2500	86	0,343	0,224	15,9	12,9
30	220	1500	3500	88,9	0,031	0,02	42	1,15
	440	1600	3500	89,5	0,185	0,08	10,6	4,6
53	440	2360	3500	90,5	0,055	0,037	31,7 —	2,1
	440	3150	3500	91,5	0,031	0,02	31,7 —	1,2

Тип 2ПБ200ЛУХЛ4, 2ПБ200ЛГУХЛ4

6	110	800	3000	83,5	0,055	0,037	137	2,4
	220	800	2500	84,5	0,22	0,15	37,1	9,4
	440	800	1850	84,5	0,925	0,652	37,1	38
8	220	950	3000	87,5	0,125	0,08	137	5,3
	440	1060	2500	87	0,565	0,393	37,1	25
11	220	1500	3500	88,5	0,083	0,053	180 42	3,7
	440	1500	3500	89	0,286	0,168	137 37	12
15	220	2360	3500	89,5	0,031	0,02	137	1,3
	440	2360	3500	90	0,125	0,08	37,1	5,3

Продолжение табл. 10.11

Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15°С, Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
		номинальная	максимальная		якоря	добавочных полюсов	возбуждения	
Тип 2ПО200МУХЛ4, 2ПО200МГУХЛ4								
6	110	750	3000	81,5	0,071	0,041	96	2,8
	220	750	2500	83,5	0,294	0,1	11	11
	440	750	1850	86	1,09	0,594	26,6	41
9	220	1060	3000	86	0,143	0,073	96	5,6
	440	1060	2500	86	0,57	0,325	26,6	22
14	220	1500	3500	88	0,071	0,041	96	2,8
	440	1500	3500	88	0,294	0,172	26,6	11
20	220	2360	3500	89,5	0,026	0,016	74 8	1
	440	2200	3500	90	0,143	0,073	96 26	5,6
Тип 2ПО200ЛУХЛ4, 2ПО200ЛГУХЛ4								
7,1	110	750	3000	82,5	0,055	0,037	102	2,4
	220	750	2500	83,5	0,22	0,15	23,7	9,4
	440	750	1850	83,5	0,925	0,652	36	36
11	220	1000	3000	86,5	0,125	0,08	102	5,3
	440	1000	2500	87	0,5	0,264	23,7	21
17	220	1500	3500	89	0,055	0,037	102	2,4
	440	1500	3500	89	0,22	0,15	23,7	9,4
24	220	2360	3500	90	0,031	0,037	102	1,3
	440	2120	3500	90,5	0,125	0,15	23,7	5,3
Тип 2ПФ200МУХЛ4, 2ПФ200МГУХЛ4								
22	220	1600	3500	87,5	0,047	0,029	46	1,6
	440	1600	3500	88	0,188	0,116	13,1	6,4
30	440	2200	3500	90	0,106	0,061	46 13,1	3,6
40	440	3000	3500	90,5	0,071	0,041	96 22,8	2,5
Тип 2ПФ200ЛУХЛ4, 2ПФ200ЛГУХЛ4								
15	110	750	3300	82	0,031	0,02	42	1,2
	220	750	2500	82,5	0,125	0,08	10,6	4,6
	440	800	1850	83,5	0,5	0,264	55	18,6
20	220	1000	3300	85,5	0,083	0,053	15 31 7	3,2
	440	1000	2500	85,5	0,286	0,168	31,7	10
30	220	1500	3500	88,5	0,031	0,02	—	1,2
	440	1500	3500	88,5	0,125	0,08	—	4,6
42	440	2360	3500	90,5	0,055	0,037	31,7 —	2,1
55	440	3150	3500	91	0,031	0,02	31,7 —	1,2

Примечания: 1. Сопротивления обмотки возбуждения приведены в виде дроби: в числителе указаны значения при номинальном напряжении возбуждения 220 В, в знаменателе — при 110 В.

2. Индуктивность дана при номинальном токе возбуждения.

Таблица 10.12. Технические данные двигателей серии 2П ($h = 225 \div 315$ мм)

Мощность, кВт	Напря- жение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15°C, Ом		
		номиналь- ная	макси- мальная		якоря	добавочных полусов	возбуж- дения

Тип 2ПН225МУХЛ4, 2ПН225МГУХ4

7,5	220	1500	1800	77	0,350	0,1010	82,43
11	220	600	2100	79,5	0,202	0,0678	62,25
15	220	750	2500	80,5	0,146	0,0637	62,25
22	220	1000	2500	82	0,086	0,0429	62,6
37	220	1500	3000	86,5	0,0366	0,0159	45,75
	440	1500	1850	86,5	0,168	0,0678	43

Тип 2ПН225ЛУХЛ4, 2ПН225ЛГУХЛ4

15	220	600	2100	79	0,160	0,0742	52,32
18,5	220	750	2500	83	0,095	0,05	52,32
	440	750	1500	83	0,473	0,208	49,7
30	220	1060	2500	84,5	0,049	0,0197	38,6
	440	1060	2250	84,5	0,196	0,07	38,6
45	220	1500	3000	87,5	0,237	0,0125	38,6

Тип 2ПФ225МУХЛ4, 2ПФ225МГУХЛ4

10	220	500	1800	74,5	0,35	0,101	62,25
15	220	600	2100	79,5	0,178	0,0678	43
18,5	220	750	2500	81	0,146	0,0637	62,25
22	220	1000	2500	82,5	0,86	0,043	62,6
	340	1000	2500	82,5	0,178	0,067	43
	440	1000	1000	82,5	0,353	0,111	43
37	220	1500	3000	87	0,0365	0,0159	43
	340	1500	2000	87	0,0865	0,043	43
	440	1500	2700	87	0,148	0,064	43

Тип 2ПФ225ЛУХЛ4, 2ПФ225ЛГУХЛ4

15	220	500	1800	77,5	0,196	0,079	39,5
18,5	220	600	2100	83	0,161	0,074	52,3
	440	750	1500	83	0,473	0,208	49,1
	220	750	2500	83,2	0,095	0,05	52,3
30	220	1060	2500	85	0,049	0,02	39,6
	440	1060	2250	85	0,196	0,08	39,6

Продолжение табл. 10 12

Мощность, кВт	Напря- жение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15°С, Ом		
		номиналь- ная	макси- мальная		якоря	добавочных полюсов	возбуж- дения

Тип 2ПН250МУХЛ4, 2ПН250МГУХЛ4

15	220	530	1500	80	0,142	0,078	37,9
18	220	630	2100	80,5	0,11	0,054	37,9
	440	600	1800	80,5	0,57	0,25	37,9
22	220	750	2000	81	0,074	0,039	37,9
	440	850	2400	81	0,235	0,096	28,7
37	220	1060	2500	85	0,035	0,019	28,7
	440	1060	2500	85	0,152	0,078	28,7
50	440	1500	1800	87	0,11	0,054	29,8
55	220	1500	2800	87	0,0185	0,0098	26,8
	440	1700	2800	87	0,059	0,026	20,2

Тип 2ПН250ЛУХЛ4, 2ПН250ЛГУХЛ4

22	220	600	2100	82	0,082	0,047	33,4
	340	630	2100	82	0,158	0,093	33,4
	440	600	1800	82	0,38	0,19	33,4
28	440	750	1900	83	0,26	0,11	33,4
30	220	750	2000	84	0,051	0,031	33,4
45	220	1000	2500	85,5	0,03	0,016	25,09
	440	1000	1500	85,5	0,122	0,064	33,4
71	440	1500	2800	88,5	0,0653	0,031	31,2
75	220	1500	2800	89	0,013	0,0077	23,5

Тип 2ПФ250МУХЛ4, 2ПФ250МГУХЛ4

18,5	220	500	1500	76	0,142	0,078	37,9
22	220	600	2100	80	0,11	0,054	37,9
	440	600	1800	80	0,568	0,252	38
30	220	750	2000	81	0,074	0,039	37,9
	440	850	2100	81	0,235	0,063	26,8
37	220	1060	2500	85	0,035	0,019	28,7
	440	1060	2500	85	0,152	0,078	28,7
50	440	1500	1800	87	0,11	0,054	29,8
55	220	1500	2800	87	0,018	0,0098	26,8
	440	1700	2800	87	0,059	0,026	20,2

Продолжение табл. 10.12

Мощность, кВт	Напряже- ние, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15 °С, Ом		
		номи- нальная	макси- мальная		якоря	добавоч- ных полусов	возбуж- дения

Тип 2ПФ250ЛУХЛ4, 2ПФ250ЛГУХЛ4

22	220	500	1500	78	0,122	0,064	33,4
26,5	440	600	1800	81,5	0,38	0,195	34,7
28	220	600	2100	82,2	0,082	0,047	33,4
30	220	750	1500	84,3	0,05	0,031	33,4
	440	750	2000	84,3	0,261	0,115	33,4
37	220	750	2000	83,2	0,051	0,031	33,4
	340	750	2000	83,2	0,122	0,064	25,1
45	220	1000	2500	86	0,03	0,016	25,1
	340	1180	2500	86	0,065	0,031	33,4
	440	1000	1500	86	0,122	0,064	33,4
71	440	1500	2800	88,5	0,065	0,031	31,2
75	220	1500	2800	89,5	0,0128	0,0077	23,5

Тип 2ПН280МУХЛ4, 2ПН280МГУХЛ4

22	220	530	1250	83	0,062	0,033	39,6
30	220	600	1500	84,5	0,046	0,022	23
	440	600	1500	84,5	0,185	0,0817	30
45	220	750	2000	86	0,034	0,015	28
	440	750	1200	86,5	0,137	0,0618	30
75	220	1000	2250	88,5	0,016	0,0083	22,8
	440	1180	2400	88,5	0,046	0,022	25
90	440	1500	1500	89			
110	220	1500	2600	89,5	0,0075	0,0038	22,8
	440	1500	2250	89,5	0,034	0,0154	30

Тип 2ПН280ЛУХЛ4, 2ПН280ЛГУХЛ4

30	220	500	1250	83,5	0,05	0,025	26,7
	440	500	1250	83,5	0,2	0,092	26,7
37	220	600	1500	86	0,037	0,017	25,2
	440	600	1500	86	0,147	0,069	26,6
55	220	750	2000	87,5	0,025	0,012	25,2
85	440	1000	2250	88,4	0,05	0,025	19,7
90	220	1060	2000	88,4	0,012	0,0053	19,7
132	220	1500	2600	90,6	0,00604	0,034	25,2
	440	1500	1900	90,6	0,0248	0,012	25,2

Продолжение табл. 10 12

Мощность, кВт	Напряже- ние, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15 °С Ом		
		номи- нальная	макси- мальная		якоря	добавоч- ных полосов	возбужде- ния
Тип 2ПФ280МУХЛ4, 2ПФ280МГУХЛ4							
30	220	500	1200	84,5	0,062	0,033	29
37	220	600	1500	84,5	0,046	0,022	29
	440	600	1500	84,5	0,185	0,082	24
45	220	750	2000	87	0,034	0,015	28
	440	750	1200	87	0,136	0,062	30
75	220	1000	2250	88,5	0,016	0,0083	22,8
	440	1180	2250	88,5	0,046	0,022	24,07
110	220	1500	2600	89	0,0075	0,0038	22,8
	440	1500	2250	89	0,034	0,015	30
Тип 2ПФ280ЛУХЛ4, 2ПФ280ЛГУХЛ4							
37	220	500	1250	83,2	0,05	0,025	26,7
	440	500	1250	83,2	0,2	0,092	19,7
45	220	600	1500	85,5	0,037	0,017	25,2
	440	600	1200	85,5	0,15	0,06	19,7
55	220	750	1900	87,5	0,025	0,012	25,2
	440	750	1000	87,5	0,0992	0,052	26,7
85	440	1000	2250	88,7	0,05	0,025	19,7
13,2	220	1500	2600	91	0,006	0,034	25,2
	440	1500	1900	91	0,025	0,012	25,2
Тип 2ПН315МУХЛ4, 2ПН315МГУХЛ4							
45	220	600	1500	85,5	0,03	0,014	34,08
	440	600	1500	85,5	0,12	0,058	25,6
55	440	750	1800	87	0,068	0,028	18,8
100	440	1000	2250	88	0,04	0,024	25,6
110	220	1000	2250	89	0,0082	0,0045	18,8
160	220	1500	2400	90	0,004	0,0025	25,6
	440	1900	2400	90	0,0116	0,0071	25,6
Тип 2ПН315ЛУХЛ4, 2ПН315ЛГУХЛ4							
45	220	500	1250	86,9	0,032	0,016	28,6
	440	500	1250	86,9	0,128	0,065	21
55	220	600	1500	88	0,022	0,012	27,9
	440	630	1500	88	0,074	0,032	14,8
75	220	750	1800	88	0,013	0,0081	21,1
	440	800	1800	88	0,044	0,027	15,5
118	440	1000	2000	89	0,032	0,016	21
132	220	1060	2200	90	0,0064	0,0043	21,1

Продолжение табл. 10.12

Мощность, кВт	Напряжение В	Частота вращения об/мин		КПД, %	Сопротивление обмотки при 15 °С, Ом		
		номинальная	максимальная		якоря	добавочных полюсов	возбуждения
200	220 440	1500	2400	91	0,0030	0,0017	21
		1500	2400	91	0,013	0,0081	14,8

Тип 2ПФ315МУХЛ4, 2ПФ315МГУХЛ4

45	440	500	1250	86	0,162	0,073	25
55	220	600	1500	87	0,029	0,004	34
	440	600	1500	87	0,12	0,057	25,6
75	220	750	1700	88,5	0,014	0,0083	18,8
	440	750	1800	88,5	0,068	0,028	18,8
100	440	1000	2200	88	0,04	0,024	25,6
110	220	1000	2250	89	0,0082	0,0045	18,8
160	220	1500	2400	90	0,004	0,0025	25,6
	440	1900	2400	90	0,012	0,0071	25,6

Тип 2ПФ315ЛУХЛ4, 2ПФ215ЛГУХЛ4

55	220	500	1250	86	0,032	0,016	28,6
	440	500	1250	86	0,128	0,065	2,1
75	220	630	1500	87,5	0,015	0,0094	15,5
	440	630	1500	87,5	0,074	0,032	15,5
90	220	750	1800	88	0,013	0,0081	21
	440	750	1800	88	0,043	0,027	15,5
118	440	1000	2000	89	0,032	0,016	21
220	220	1500	2400	91	0,003	0,0017	21
	440	1500	2000	91	0,013	0,0081	14,8

Примечание. Сопротивление обмотки возбуждения дано при номинальном напряжении возбуждения 220 В. При напряжении 110 В значение сопротивления уменьшается в 4 раза.

Таблица 10.13 Габаритные, установочные и присоединительные размеры машин типов 2ПН и 2ПБ с высотами вращения 90–200 мм (рис. 10.10 и 10.12)

Типоразмер машины	Размеры, мм						Масса, кг при исполнении		Момент инерции, кг·м ²
	b_{10}	d_1	d_{20}	d_{30}	l_{10}	l_{30}	ИМ1001	ИМ3601	
2ПН90М 2ПБ90М	140	16	130	196	125	369	24	27	0,004
2ПН90МГ 2ПБ90МГ						493	29	32	
2ПН90Л 2ПБ90Л						349	27	30	0,005
2ПН90ЛГ 2ПБ90ЛГ						518	32	35	

Продолжение табл. 10.13

Типоразмер машины	Размеры, мм						Масса, кг, при исполнении		Момент инерции, кг м ²
	b_{10}	d_1	d_{20}	d_{30}	l_{10}	l_{30}	1М1001	1М3601	
2ПН100М 2ПБ100М	160	22	130	220	140	414	36	40	0,011
2ПН100МГ 2ПБ100МГ						538	41	45	
2ПН100Л						434	39	43	0,012
2ПН100ЛГ						558	44	48	
2ПН112М	190	24	165	237	159	490	47	51	0,015
2ПБ112М				218					
2ПН112МГ				237		640	52	56	
2ПБ112МГ				218					
2ПН112Л				237		530	56	60	0,018
2ПБ112Л				218					
2ПН112ЛГ				237		680	61	65	
2ПБ112ЛГ				218					
2ПН132М	216	38	215	277	162	610	86	95	0,038
2ПБ132М				258					
2ПН132МГ				277		760	91	100	
2ПБ132МГ				258					
2ПН132Л				277		650	96	105	0,048
2ПБ132Л				258					
2ПН132ЛГ				277		805	101	110	
2ПБ132ЛГ				258					
2ПН160М	254	38	265	333	149	645	141	146	0,083
2ПБ160М				314					
2ПН160МГ				333		800	147	152	0,083
2ПБ160МГ				314					
2ПН160Л				333		695	159	164	0,1
2ПБ160Л				314					
2ПН160ЛГ				333		850	165	170	
2ПБ160ЛГ				314					

Продолжение табл. 10 13

Типоразмер машины	Размеры мм						Масса, кг, при исполнении		Момент инерции, кг м ²
	<i>b</i> ₁₀	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂₀	<i>d</i> ₈₀	<i>l</i> ₁₀	<i>l</i> ₃₀	IM1001	IM3601	
2ПН180М	279	42	300	373	190	765	213	221	0,2
2ПБ180М				354					
2ПН180МГ				373		925	219	227	
2ПБ180МГ				354					
2ПН180Л				373		805	234	242	0,23
2ПБ180Л				354					
2ПН180ЛГ				373		965	240	248	
2ПБ180ЛГ				354					
2ПН200М	318	48	350	413	190	785	282	287	0,25
2ПБ200М				394					
2ПН200МГ				413		940	288	293	
2ПБ200МГ				394					
2ПН200Л				413		845	325	330	0,3
2ПБ200Л				394					
2ПН200ЛГ				413		1000	331	336	
2ПБ200ЛГ				394					

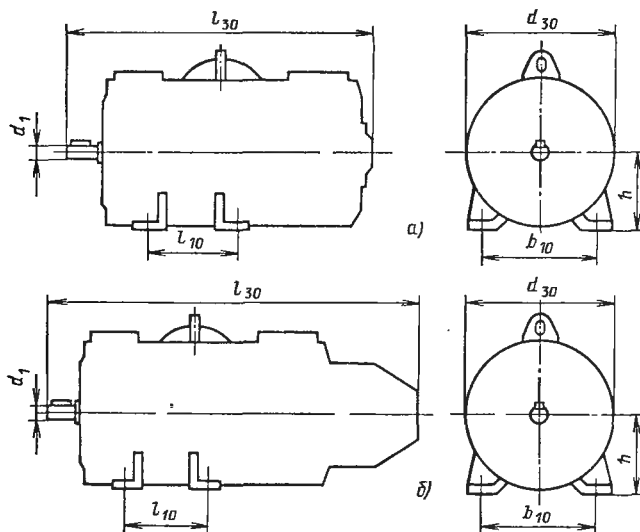


Рис. 10.10. Обозначение габаритных и установочных размеров машин постоянного тока группы исполнения IM1

а — без тахогенератора б — с тахогенератором

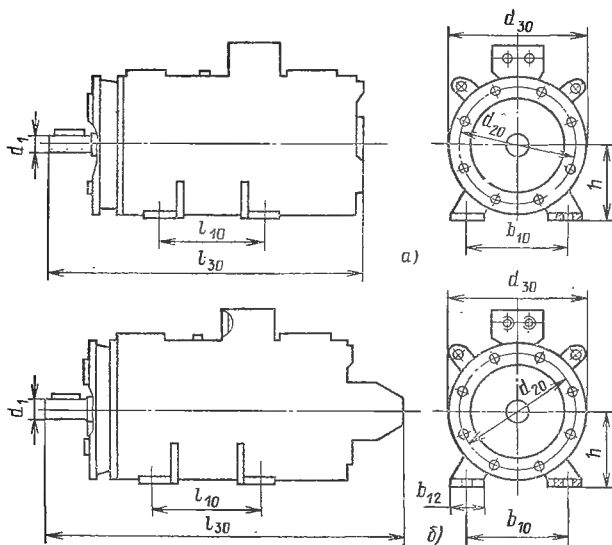
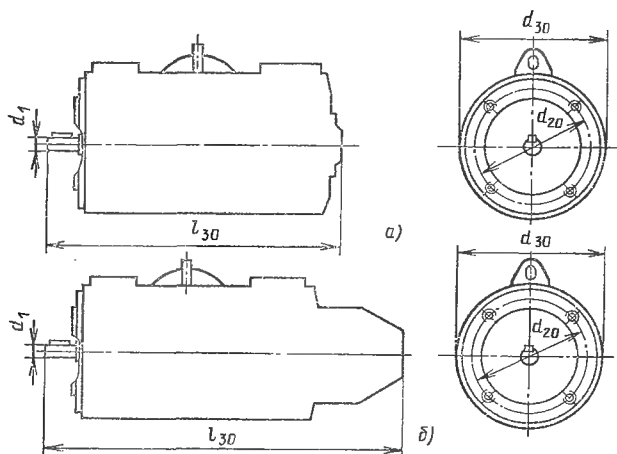


Рис. 10.11. Обозначение габаритных и установочных размеров машин постоянного тока группы исполнения IM2: а — без тахогенератора; б — с тахогенератором

Рис. 10.12. Обозначение габаритных и установочных размеров машин постоянного тока группы исполнения IM3, IM4: а — без тахогенератора; б — с тахогенератором



10.3.3. Генераторы постоянного тока серии 2П

Генераторы постоянного тока серии 2П (табл. 10.18) изготавливаются только в защищенном исполнении с самовентиляцией. Степень защиты IP22. Возбуждение генераторов смешанное, параллельное или независимое (без последовательной обмотки). Напряжение независимого возбуждения 110 или 220 В. Номинальные напряжения генераторов 115, 230 и 460 В, частоты вращения 1000, 1500 и 3000 об/мин.

Генераторы обеспечивают регулирование напряжения от номинального до 0 при независимом возбуждении, до $0,5U_{\text{ном}}$ при

параллельном возбуждении, до $0,8U_{\text{ном}}$ при смешанном возбуждении.

Для зарядки аккумуляторных батарей предусмотрено исполнение генераторов с параллельным возбуждением с регулированием напряжения в пределах 110–160 и 220–320 В. Номинальные напряжения этих генераторов — соответственно 135 и 270 В; режим работы — продолжительный во всем диапазоне напряжений.

Генераторы выполняются с направлением вращения против часовой стрелки со стороны коллектора. По требованию заказчика они могут изготавливаться с противоположным направлением вращения.

Генераторы с высотой оси вращения

Таблица 10.14. Габаритные, установочные и присоединительные размеры машин типа 2ПО с высотами оси вращения 132—200 мм (рис. 10.10 — 10.12)

Типо-размер машины	Размеры, мм						Масса, кг, при исполнении		Момент инерции, кг·м ²
	b_{10}	d_1	d_{20}	d_{30}	l_{10}	l_{30}	IM1001	IM3601	
2ПО132М	216	38	215	300	203	890	100	109	0,038
2ПО132МГ						970	106	115	
2ПО132Л						940	110	119	0,048
2ПО132ЛГ						1020	116	125	
2ПО160М	254	38	265	365	254	930	151	156	0,083
2ПО160МГ						1015	161	166	
2ПО160Л						980	169	174	0,1
2ПО160ЛГ						1065	179	184	
2ПО180М	279	42	300	404	279	1040	235	243	0,2
2ПО180МГ						1140	245	253	
2ПО180Л						1080	256	264	0,23
2ПО180ЛГ						1180	266	274	
2ПО200М	318	48	350	444	305	1065	312	317	0,25
2ПО200МГ						1155	324	329	
2ПО200Л						1125	355	360	0,3
2ПО200ЛГ						1225	367	372	

Таблица 10.15. Габаритные, установочные и присоединительные размеры машин типа 2ПФ, с высотами оси вращения 132—200 мм (рис. 10.10 и 10.12)

Типо-размер машины	Размеры, мм						Масса, кг, при исполнении		Момент инерции, кг·м ²
	b_{10}	d_1	d_{20}	d_{30}	l_{10}	l_{30}	IM1001	IM3601	
2ПФ132М	216	38	215	280	203	895	98	107	0,038
2ПФ132Л						940	108	117	0,048
2ПФ160М	254	38	265	340	254	970	153	158	0,083
2ПФ160Л						1020	171	176	0,1
2ПФ180М	279	42	300	376	279	1080	236	244	0,2
2ПФ180Л						1120	257	265	0,23
2ПФ200М	318	48	350	420	305	1090	303	308	0,25
2ПФ200Л						1150	346	357	0,3

Таблица 10.16. Габаритные, установочные и присоединительные размеры машины типа 2ПН с высотами оси вращения 225—315 мм (рис. 10.10 и 10.12)

Типо-размер машины	Размеры, мм					Исполнение (см. примечание)	Масса, кг	Момент инерции, кг·м ²
	b_{10}	d_1	d_{30}	l_{10}	l_{30}			
2ПН225М	356	55	455	356	1055	а	340 342	0,525 0,534
						б	355 357	0,525 0,534

Продолжение табл. 10.16

Типо- размер машины	Размеры, мм					Испол- нение (см. при- мечание)	Масса, кг	Момент инерции, кг · м ²		
	<i>b</i> ₁₀	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₃₀	<i>l</i> ₁₀	<i>l</i> ₃₀					
2ПН225Л	356	55	455	356	1100	а	400	0,6		
							402	0,616		
						б	415	0,6		
							417	0,616		
2ПН225МГ					1085	в	345	0,534		
						г	362	0,534		
2ПН225ЛГ					1130	в	405	0,616		
						г	422	0,616		
2ПН250М	406	65	505	349	1105	а	510	1,05		
							514	1,067		
						б	528	1,05		
							536	1,067		
2ПН250Л				406	1160	а	600	1,28		
							604	1,31		
						б	618	1,28		
							622	1,31		
2ПН250МГ				349	1140	в	515	1,067		
						г	537	1,067		
2ПН250ЛГ				406	1195	в	605	1,31		
						г	627	1,31		
2ПН280М	457	70	565	419	1275	а	740 744	2,20 2,21		
2ПН280Л				457	1320		820 824	2,32 2,34		
2ПН280МГ 2ПН280ЛГ				419 457	1315 1360	в	745 825	2,21 2,09		
2ПН315М				457	1395		а	950 957	4,18 4,19	
2ПН315Л				508	80	635		508	1450	1180 1187
2ПН315МГ 2ПН315ЛГ				508	80	635	457 508	1430 1485	в	955 1185

Примечание. а — IM1001, IM1002, IM1003 с одним и двумя концами вала; б — IM2001, IM2002, IM2003 с одним и двумя концами вала; в — IM1001, IM1002, IM1003 с тахогенератором типа ТС-1; г — IM2001, IM2002, IM2003 с тахогенератором типа ТС-1.

Таблица 10.17. Габаритные, установочные и присоединительные размеры машин типа 2ПФ с высотами оси вращения 225—315 мм (рис. 10.10 и 10.11)

Типо- размер машины	Размеры, мм					Испол- нение (см. при- мечание)	Масса, кг	Момент инерции, кг·м ²
	b_{10}	d_1	d_{30}	l_{10}	l_{30}			
2ПФ225М	356	55	455	356	1055	а	347 349	0,46 0,47
						б	362 364	0,46 0,47
2ПФ225Л					1100	а б	407 409 422	0,57 0,58 0,57
2ПФ225МГ	356	55	455	356	1085	в г	424 352	0,58 0,47
2ПФ225ЛГ					1130	в г	369 412 429	0,46 0,58 0,57
2ПФ250М	406	65	505	349	1105	а б	517 521 535 539	0,97 1,02 0,97 1,02
2ПФ250Л				406	1160	а б	607 611 625	1,2 1,22 1,2
2ПФ250МГ	406	65	505	349	1140	в г	629 522	1,22 1,02
2ПФ250ЛГ				406	1195	в г	544 612 634	0,97 1,22 1,2
2ПФ280М	457	70	565	419	1275	а	760 754	2,12 2,13
2ПФ280Л				457	1320		830 834	2,33 2,3
2ПФ280МГ				419	1315	в	755	2,13
2ПФ280ЛГ				457	1360		835	2,30
2ПФ315М	508	80	635	457	1395	а	960 967	4,09 4,1
2ПФ315Л				508	1540		1190 1197	2,91 4,44
2ПФ315МГ				457	1430	в	965	4,1
2ПФ315ЛГ				508	1485		1195	4,44

Примечание. а — IM1001, IM1002, IM1003 со встроенным мотор-вентилятором; б — IM2001, IM2002, IM2003 со встроенным мотор-вентилятором; в — IM1001, IM1002, IM1003 со встроенным мотор-вентилятором и тахогенератором типа ТС-1; г — IM2001, IM2002, IM2004 со встроенным мотор-вентилятором и тахогенератором типа ТС-1.

Таблица 10.18. Технические данные генераторов серии 2П

Типоразмер генератора	Мощность, кВт	Напряжение, В	Номинальная частота вращения, об/мин	КПД, %
2ПН100МУХЛ4	0,37	115	1500	61,4
		230	1500	60
		110/160	1500	63,6
		220/320	1500	63,7
	1,25	115	3000	76
		230	3000	76
	1,1	110/160	3000	74,5
		220/320	3000	74
2ПН100ЛУХЛ4	0,55	115	1500	63,3
		230	1500	63,3
		110/160	1500	65,6
		230/320	1500	61,5
	1,8	115	3000	78,5
		230	3000	78,5
	1,6	110/160	3000	77
		220/320	3000	77
2ПН112МУХЛ4	0,75	115	1500	64,5
		230	1500	63,5
		110/160	1500	63,5
		230/320	1500	63,5
	2,5	110/160	3000	75
		230/320	3000	74,5
	2,8	115	3000	76,5
		230	3000	76,5
2ПН112ЛУХЛ4	1,1	115	1500	67
		230	1500	69,5
		110/160	1500	70,5
		220/320	1500	71
	3,75	110/160	3000	79,5
		220/320	3000	79,5
	4	115	3000	80,5
		230	3000	80,5
2ПН132МУХЛ4	1,5	110/160	1500	73
		220/320	1500	75,5
	2,2	115	1500	73,5
		230	1500	75,0
		460	1500	75,5
	5,5	110/160	3000	82,5
		220/320	3000	83
	6	115	3000	82
		220	3000	83,5
2ПН132ЛУХЛ4	3	115	1500	77
		230	1500	79
		460	1500	78
		110/160	1500	76

Продолжение табл. 10.18

Типоразмер генератора	Мощность, кВт	Напряжение, В	Номинальная частота вращения, об/мин	КПД, %
2ПН132ЛУХЛ4	3	220/320	1500	76
	7,5	110/160 220/320	3000 3000	83,5 83,5
	8,5	115 230	3000 3000	83,5 85
2ПН160МУХЛ4	3	115 230	1000 1000	75,5 76
	5,5	115 230 460 110/160 220/320	1500 1500 1500 1500 1500	81,5 81,5 81 79,5 81
	15	110/160 220/320	3000 3000	86 86
	16	115 230	3000 3000	84,5 86,5
2ПН160ЛУХЛ4	4	115 230	1000 1000	78,5 78,5
	7,5	115 230 460 110/160 220/320	1500 1500 1500 1500 1500	82 81 84,5 81,5 82
	18,5	110/160 220/320	3000 3000	88,5 87,5
	22	230	3000	87,5
2ПН180МУХЛ4	5,5	115 230	1000 1000	80,0 79,5
	11	115 230 460 110/160 220/320	1500 1500 1500 1500 1500	83 84 84,5 84 84
	22	110/160 220/320	3000 3000	88 89
	30	230	3000	89
2ПН180ЛУХЛ4	7,5	115 230	1000 1000	81 81,5
	12,5	115 230 460	1500 1500 1500	84,5 86,5 84,5
	13,2	110/160 220/320	1500 1500	83,5 83,5

Продолжение табл. 10.18

Типоразмер генератора	Мощность, кВт	Напряжение, В	Номинальная частота вращения, об/мин	КПД, %
2ПН180ЛУХЛ4	30	220/320	3000	91
2ПН200МУХЛ4	10	115 230	1000 1000	81 82
2ПН200МУХЛ4	18,5	115 230 460 110/160 220/320	1500 1500 1500 1500 1500	85,5 87 86,5 83 85
	45	220/320	3000	89
2ПН200ЛУХЛ4	22	230 460 110/160 220/320	1500 1500 1500 1500	87,5 87 86,5 86
	55	230/320	3000	91,5
2ПН225МУХЛ4	18,5	115 230	1000 1000	82,3 82,3
	30	115 230 460	1500 1500 1500	85,3 85,5 85
2ПН225ЛУХЛ4	25	230	1000	83,5
	37	230 460	1500 1500	86,5 86,5
2ПН250МУХЛ4	45	115	1500	85
	55	230 460	1500 1500	87 86
2ПН250ЛУХЛ4	37 71	230 230	1000 1500	86,2 87
2ПН280МУХЛ4	90	230 460	1500 1500	89,5 90
2ПН280ЛУХЛ4	110	460	1500	90
2ПН315МУХЛ4	90 90 160	115 115 460	1000 1500 1500	88 88,5 90
2ПН315ЛУХЛ4	180	230	1500	89

Примечание. Пределы регулирования напряжения генераторов для заряда аккумуляторных батарей указаны в виде дроби.

100 мм могут использоваться в качестве тахогенераторов; напряжение возбуждения тахогенераторов независимое 24, 110 или 220 В.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры генераторов серии 2П приведены в табл. 10.13–10.17 и на рис. 10.10–10.12.

10.4. Машины постоянного тока серии П

10.4.1. Общие сведения

Машины постоянного тока серии П применяются в качестве двигателей и генераторов в различных отраслях промышленности. Выпуск машин серии П прекращен, поэтому в новых разработках машины этой серии не применяются.

Электрические машины серии П охватывают диапазон мощностей от 0,3 до 200 кВт (при 1500 об/мин) и имеют 11 габаритов. Габарит определяется внешним диаметром якоря. Машины этой серии соответствуют ТУ 16.514.001-64.

Машины рассчитаны на продолжительный (S1) режим работы на высоте над уровнем моря до 1000 м при температуре окружающего воздуха от 5 до 40°C и относительной влажности воздуха до 80% при температуре 25°C и при более низких температурах без конденсации влаги.

Машины серии П изготавливались со степенями защиты от воздействия окружающей среды IP20 и IP54.

По способу охлаждения различают машины с самовентиляцией, с естественным охлаждением, с независимой вентиляцией от пристроенного вентилятора типа «Наездник» (только для машин 4—11-го габаритов), с независимой вентиляцией и подводом воздуха по трубам (только для машин 7—11-го габаритов).

Структура условного обозначения машин серии П:

П	Х	Х	Х	Х
Т	Т	Т	Т	Т
1	2	3	4	5

где 1 — П — название серии;

2 — исполнение по способу охлаждения: буква Б — закрытое с естественным охлаждением; Р — закрытое с воздухоохладителем, пристроенным наверху машины, в обозначении машин защищенного исполнения буква отсутствует;

3 — условный габарит (с 1-го по 11-й);

4 — условная длина сердечника якоря (1 или 2);

5 — климатическое исполнение и категория размещения.

10.4.2. Двигатели постоянного тока серии П

Двигатели серии П имеют смешанное возбуждение или параллельное и независимое возбуждение при работе в системе генератор — двигатель.

Ток в цепи якоря при пуске ДПТ не должен превышать $4I_{ном}$ для ДПТ 1—7-го габаритов и $3I_{ном}$ для ДПТ 8—11-го габаритов. Технические данные ДПТ серии П приведены в табл. 10.19.

Двигатели допускают регулирование частоты вращения от номинальной путем изменения тока возбуждения при мощности на валу не выше номинальной (табл. 10.20).

Регулирование частоты вращения вниз от номинальной осуществляется изменением напряжения на якоре при неизменном токе в обмотке возбуждения. Напряжение на обмотке возбуждения при этом должно соответствовать номинальному напряжению якоря.

Двигатели с независимой вентиляцией допускают регулирование частоты вращения вниз от номинальной (до 100 об/мин) изменением напряжения на якоре при моменте вращения не выше номинального. Двигатели с самовентиляцией допускают регулирование частоты вращения вниз от номинальной (до 100 об/мин) изменением напряжения на якоре с уменьшением момента в соответствии с данными табл. 10.21.

Двигатели закрытого исполнения с естественным охлаждением 1—7-го габаритов допускают регулирование частоты вращения вниз от номинальной (до 10 об/мин) изменением напряжения на якоре при моменте вращения, равном номинальному. Степень искрения на коллекторе машин при любой установившейся нагрузке от 0 до 100% номинальной не должна превышать 1¹/₂ по ГОСТ 183-74.

Степень искрения при перегрузках и в переходных режимах ослабления поля не оговаривается, но коллектор и щетки после работы в этих режимах должны оставаться в состоянии, пригодном для дальнейшей работы без предварительной чистки коллектора. При этом допускаются следы подгара на краях коллекторных пластин и щеток.

Максимально допустимое эффективное значение вибрационной скорости должно соответствовать требованиям 7-го класса по ГОСТ 16921-83.

Средний уровень звука машин должен соответствовать требованиям класса I по ГОСТ 16372-84.

Таблица 10.19. Технические данные двигателей серии П

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Момент инерции, кг·м ²
			номинальная	максимальная		
П-11У4	0,13	110	1000	2000	53,7	0,0031
	0,13	220	1000	2000	53,7	
	0,3	110	1500	3000	63,5	
	0,3	220	1500	3000	66	
	0,45	110	2200	3300	67	
	0,45	220	2200	3000	67	
	0,7	110	3000	3450	73	
	0,7	220	3000	3450	73	
П-12У4	0,2	110	1000	2000	64	0,0037
	0,2	220	1000	2000	62,5	
	0,45	110	1500	3000	69	
	0,45	220	1500	3000	70	
	0,7	110	2200	3300	73	
	0,7	220	2200	3000	73	
	1	110	3000	3450	77	
	1	220	3000	3450	77	
П-21У4	0,2	110	750	1500	60,7	0,0105
	0,2	220	750	1500	60,7	
	0,3	110	1000	2000	65	
	0,3	220	1000	2000	62	
	0,7	110	1500	3000	71,6	
	0,7	220	1500	3000	72	
	1	110	2200	3300	73,5	
	1	220	2200	3300	74	
	1,5	110	3000	3450	76,5	
	1,5	220	3000	3450	77	
П-22У4	0,3	110	750	1500	66,5	0,013
	0,3	220	750	1500	68	
	0,45	110	1000	2000	70,5	
	0,45	220	1000	2000	70,5	
	1	110	1500	3000	77,5	
	1	220	1500	3000	76,7	
	1,5	110	2200	3300	77	
	1,5	220	2200	3300	77	
	2,2	110	3000	3000	80	
	2,2	220	3000	3000	82	
П-31У4	0,45	110	750	1500	69	0,022
	0,45	220	750	1500	68	
	0,7	110	1000	2000	72	
	0,7	220	1000	2000	70	
	1,5	110	1500	3000	76,5	
	1,5	220	1500	3000	79	
	2,2	110	2200	3300	81	
	2,2	220	2200	3000	81	
	3,2	110	3000	3000	82,5	
	3,2	220	3000	3000	82,5	
П-32У4	0,7	110	750	1500	75	0,029
	0,7	220	750	1500	75,5	
	1	110	1000	2000	77	
	1	220	1000	2000	75,5	
	2,2	110	1500	3000	81,5	
	2,2	220	1500	3000	82	
	3,2	110	2200	3000	83,5	
	3,2	220	2200	3000	83	

Продолжение табл. 10.19

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Момент инерции, кг·м ²
			номинальная	максимальная		
П-32У4	4,5	110	3000	3000	84,5	
	4,5	220	3000	3000	85	
П-41У4	1	110	750	1500	68,5	0,037
	1	220	750	1500	68,5	
	1,5	110	1000	2000	73,5	
	1,5	220	1000	2000	72,5	
	1,5	440	1000	1500	71	
	2,75	440	1500	2250	80,4	
	3,2	110	1500	3000	77,5	
	3,2	220	1500	3000	78,5	
	4,2	110	2200	3000	81,5	
	4,2	220	2200	3000	81,5	
	6	110	3000	3000	81	
	6	220	3000	3000	82	
П-42У4	1,4	440	750	1100	74	0,045
	1,5	110	750	1500	73	
	1,5	220	750	1500	71,5	
	2	440	1000	1500	77	
	2,2	110	1000	2000	76	
	2,2	220	1000	2000	77	
	3,5	440	1500	2250	81,5	
	3,8	110	1500	3000	80	
	3,8	220	1500	3000	80,5	
	5,3	110	2200	3000	82	
	5,3	220	2200	3000	82	
	7,4	110	3000	3000	85	
	7,4	220	3000	3000	84,5	
П-51У4	2,2	110	750	1500	75	0,087
	2,2	220	750	1500	73,5	
	2,2	440	750	1100	77,5	
	3,2	110	1000	2000	78	
	3,2	220	1000	2000	79	
	3,2	440	1000	1500	77,5	
	6	110	1500	2250	81	
	6	220	1500	2250	81,5	
	6	440	1500	2000	81	
	8	110	2200	2500	83,5	
	8	220	2200	2500	84	
	11	220	3000	3000	85,5	
П-52У4	3,2	110	750	1500	78	0,1
	3,2	220	750	1500	78	
	3,2	440	750	1100	79	
	3,7	440	1000	1500	79,5	
	4,5	110	1000	2000	81	
	4,5	220	1000	2000	81	
	6,5	440	1500	2000	84	
	8	110	1500	2250	84	
	8	220	1500	2250	84	
	10,5	110	2200	2500	85	
	10,5	220	2200	2500	85	
	14	220	3000	3000	86	
П-61У4	4,5	110	750	1500	80	0,14
	4,5	220	750	1500	81,5	

Продолжение табл. 10.19

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Момент инерции, кг·м ²
			номинальная	максимальная		
П-61У4	4,5	440	750	1100	81	0,14
	6	110	1000	2000	83	
	6	220	1000	2000	81,5	
	6	440	1000	1500	83	
	11	110	1500	2250	85	
	11	220	1500	2250	86	
	11	440	1500	2000	86	
	14	220	2200	2500	86	
	19	220	3000	3000	86	
П-62У4	5,5	440	750	750	83,4	0,16
	6	110	750	1500	81,5	
	6	220	750	1500	81,5	
	8	110	1000	2000	84	
	8	220	1000	2000	85	
	8	440	1000	1500	84	
	14	110	1500	2250	85,5	
	14	220	1500	2250	87,5	
	14	440	1500	2000	88,5	
	18	220	2200	2500	87,5	
	25	220	3000	3000	88,5	
П-71У4	7	110	750	1500	75,5	0,35
	7	220	750	1500	76	
	11	110	1000	2000	79	
	11	220	1000	2000	79,5	
	15	440	1500	2000	82,5	
	19	110	1500	2250	82,5	
	19	220	1500	2250	84	
	25	110	2200	2500	85,5	
	25	220	2200	2500	85,5	
	32	220	3000	3000	84	
П-72У4	10	110	750	1500	80,5	0,4
	10	220	750	1500	78,5	
	14	110	1000	2000	79,5	
	14	220	1000	2000	81	
	25	110	1500	2250	85	
	25	220	1500	2250	86	
	32	110	2200	2500	87	
	32	220	2200	2500	87	
	42	200	3000	3000	86	
П-81У4	14	110	750	1500	80,5	0,7
	14	220	750	1500	80	
	19	110	1000	2000	80,5	
	19	220	1000	2000	81,5	
	19	440	1000	1000	81	
	32	110	1500	2250	83,5	
	32	220	1500	2250	84,5	
	32	440	1500	1500	85	
П-82У4	19	110	750	1500	81	0,8
	19	220	750	1500	82	
	25	110	1000	2000	83,5	
	25	220	1000	2000	84	
	25	440	1000	1000	82	
	42	220	1500	2250	86,5	
	42	340	1550	1550	86	

Продолжение табл. 10.19

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Момент инерции, кг · м ²
			номинальная	максимальная		
П-91У4	19	110	600	1200	78	1,5
	19	220	600	1200	81,5	
	25	110	750	1500	81,5	
	25	220	750	1500	83,5	
	25	440	800	800	82,5	
	32	110	1000	1800	84	
	32	220	1000	2000	85	
	32	440	1000	1350	84	
	55	220	1500	2250	87	
	55	440	1500	1500	86	
П-92У4	25	110	600	1200	82	1,75
	25	220	600	1200	83	
	32	110	750	1500	85	
	32	220	750	1500	86	
	32	440	800	1000	85	
	42	220	1000	2000	87	
	42	440	1050	1050	86	
	75	220	1500	1900	89,5	
	75	440	1550	1550	88,5	
П-101У4	32	110	600	1200	84	2,575
	32	220	600	1200	84,5	
	42	110	750	1500	85	
	42	220	750	1500	86	
	42	440	800	1000	85	
	55	110	1000	1500	86,5	
	55	220	1000	1500	87,5	
	55	440	1000	1000	86,5	
	100	220	1500	1800	89,5	
	100	440	1550	1550	88,5	
П-102У4	42	110	600	1200	84,5	3,0
	42	220	600	1200	85	
	55	110	750	1500	86	
	55	220	750	1500	86,5	
	55	440	800	800	86,5	
	75	220	1000	1500	88,5	
	75	440	1000	1250	87,5	
	125	220	1500	1800	90	
	125	440	1550	1550	75	
П-111У4	55	110	600	1200	86	5,1
	55	220	600	1200	86	
	75	220	750	1500	88	
	75	440	800	800	87	
	100	220	1000	1500	89	
	100	440	1000	1250	88	
	160	220	1500	1800	90	
	160	440	1550	1550	89	
П-112У4	70	220	600	1200	88	5,85
	85	220	750	1500	88,5	
	85	440	800	1000	87,5	
	125	220	1000	1500	90	
	125	440	1050	1050	89	
	180	440	1500	1500	90	
	200	220	1500	1500	91	

Продолжение табл. 10.19

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Момент инерции, кг·м ²
			номинальная	максимальная		
ПБ-11У2	0,15	110	1500	2000	68	0,0031
	0,15	220	1500	2000	68	
	0,22	110	2200	2600	70	
	0,22	220	2200	2600	70	
	0,33	110	3000	3000	78,5	
	0,33	220	3000	3000	78,5	
ПБ-12У2	0,23	110	1500	2000	69,5	0,0037
	0,23	220	1500	2000	70	
	0,34	110	2200	2600	72	
	0,34	220	2200	2600	72	
	0,52	110	3000	3000	80,7	
	0,52	220	3000	3000	78,5	
ПБ-21У2	0,35	110	1500	2000	70,5	0,0105
	0,35	220	1500	2000	72	
	0,52	110	2200	2600	73	
	0,52	220	2200	2600	73	
	0,8	110	3000	3000	78	
	0,8	220	3000	3000	79	
ПБ-22У2	0,5	110	1500	2000	75,5	0,013
	0,5	220	1500	2000	75,5	
	0,72	110	2200	2600	75	
	0,72	220	2200	2600	75	
ПБ-31У2	0,65	110	1500	2000	79,5	0,022
	0,65	220	1500	2000	79,5	
	0,95	110	2200	2600	78	
	0,95	220	2200	2600	78	
	1,3	110	3000	3000	84	
	1,3	220	3000	3000	84	
ПБ-32У2	1	110	1500	2000	82,5	0,029
	1	220	1500	2000	82,5	
	1,45	110	2200	2600	80	
	1,45	220	2200	2600	80	
	1,9	110	3000	3000	86	
	1,9	220	3000	3000	86	
ПБ-41У4	0,7	110	1000	1400	74,5	0,037
	0,7	220	1000	1400	74,5	
	0,7	440	1000	1150	72	
	1,2	110	1500	2000	81	
	1,2	220	1500	2000	81	
	1,2	440	1500	1650	77	
	1,7	110	2200	2600	81	
	1,7	220	2200	2600	81	
	2,3	110	3000	3000	82,5	
	2,3	220	3000	3000	82,5	
ПБ-42У2	1	110	1000	1400	77	0,045
	1	220	1000	1400	77	
	1	440	1000	1150	75	
	1,5	110	1500	2000	81	
	1,5	220	1500	2000	81	
	1,5	440	1500	1650	81	
	2,2	110	2200	2600	83	

Продолжение табл. 10.19

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Момент инерции, кг·м ²
			номинальная	максимальная		
ПБ-42У2	2,2	220	2200	2600	83	0,045
	3	110	3000	3000	83	
	3	220	3000	3000	83	
ПБ-51У2	1,2	110	1000	1400	75,5	0,087
	1,2	220	1000	1400	75,5	
	1,2	440	1000	1150	75	
	1,9	110	1500	2000	83,5	
	1,9	220	1500	2000	83,5	
	1,9	440	1500	1650	82	
	2,8	110	2200	2600	84	
	2,8	220	2200	2600	84	
ПБ-52У2	1,5	110	1000	1400	80	0,1
	1,5	220	1000	1400	81	
	1,5	440	1000	1150	77	
	2,4	110	1500	2000	83,5	
	2,4	220	1500	2000	83	
	2,4	440	1500	1650	83	
	3,5	110	2200	2600	85	
	3,5	220	2200	2600	85	
ПБ-61У2	1,8	110	1000	1400	81,5	0,14
	1,8	220	1000	1400	81,5	
	1,8	340	1000	1150	79	
	3,2	110	1500	2000	81,5	
	3,2	220	1500	2000	85,5	
	3,2	340	1500	1650	84	
ПБ-62У2	2,2	110	1000	1400	84	0,16
	2,2	220	1000	1400	84	
	2,2	440	1000	1150	80	
	4	110	1500	2000	85,5	
	4	220	1500	2000	85,5	
	4	440	1500	1650	84	
ПБ-71У2	3	110	1000	1400	80	0,35
	3	220	1000	1400	80	
	3	440	1000	1150	80	
	6	110	1500	2000	84	
	6	220	1500	2000	84	
	6	440	1500	1650	85	
ПБ-72У2	4	110	1000	1400	81	0,4
	4	220	1000	1400	81	
	4	440	1000	1150	81	
	7,7	110	1500	2000	85	
	7,7	220	1500	2000	85	
	7,7	440	1500	1650	85	
ПБ-81У2	5	110	1000	1000	80	0,7
	5	220	1000	1000	80	
	6,5	110	1500	1500	81	
	6,5	220	1500	1500	81	
ПБ-82У2	6,6	110	1000	1000	81	0,8
	6,6	220	1000	1000	81	
	10	220	1500	1500	84	

Таблица 10.20. Технические данные двигателей серии П с регулированием частоты вращения вверх от номинальной изменением тока возбуждения (напряжение 220 В)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин		КПД, %, при частоте вращения		Диапазон регулирования
		номинальная	максимальная	номинальной	максимальной	
П-21У4	0,3	1000	3000	62	47	1 : 3
	0,7	1500	3400	72	67	1 : 2,25
П-22У4	0,45	1000	3000	70,5	60	1 : 3
	1	1500	3400	77	73	1 : 2,25
П-31У4	0,45	750	3000	68	57	1 : 4
	0,7	1000	3000	70	63	1 : 3
	1,5	1500	3400	79	76	1 : 2,25
П-32У4	0,7	750	3000	75,5	70,5	1 : 4
	1	1000	3000	75,5	72,5	1 : 3
	2,2	1500	3400	82	80,5	1 : 2,25
П-41У4	1	750	3000	68,5	55	1 : 4
	1,5	1000	3000	72,5	63,5	1 : 3
	3,2	1500	3400	78,5	75	1 : 2,25
П-42У4	1,5	750	3000	71,5	62	1 : 4
	2,2	1000	3000	77	74	1 : 3
	3,8	1500	3400	80,5	77,5	1 : 2,25
П-51У4	2,2	750	3000	73,5	65,5	1 : 4
	3	1000	3000	79	76	1 : 3
П-52У4	3,2	750	3000	78	74	1 : 4
	4,5	1000	3000	81	78	1 : 3
П-61У4	6	1000	3000	81,5	77	1 : 3
	6	1000	2250	81,5	80,5	1 : 2,25
П-62У4	4,5	600	2400	77	74	1 : 4
	8	1000	2250	85	82,5	1 : 2,25
П-71У4	4,5	600	1800	70,5	69	1 : 3
	7	750	2250	75,5	74	1 : 3
	11	1000	2250	85,5	80	1 : 2,25
П-72У4	6	600	2400	77,5	74	1 : 4
	7	600	1800	74	73,5	1 : 3
	10	750	2250	79	69	1 : 3
	14	1000	2250	84	82	1 : 2,25
ПБ-82У2	3,4	500	1500	81	71	1 : 3

Таблица 10.21. Технические данные двигателей серии П с регулированием частоты вращения вниз от номинальной изменением напряжения на якоре (напряжение 220 В)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Номинальный момент, Н·м	Момент, Н·м, при частоте вращения, об/мин				
				1500	1000	600	300	100
П-11У4	0,3	1800	1,68	1,58	1,3	1,05	0,95	0,72
П-12У4	0,45	1800	2,35	2,25	1,96	1,66	1,44	1,28
П-21У4	0,7	1700	3,92	3,92	3,52	3,15	3,05	2,55

Продолжение табл. 10.21

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Номинальный момент, Н·м	Момент, Н·м, при частоте вращения, об/мин				
				1500	1000	600	300	100
П-22У4	1	1800	5,55	5,28	4,65	3,92	3,52	3,2
П-31У4	1,5	1700	7,84	7,84	7,25	6,4	5,1	5
П-32У4	2,2	1850	12,3	11,4	10,5	9,3	8,2	8,2
П-41У4	3,2	1800	21,5	18	17,7	15,7	13,8	12,3
П-42У4	3,8	1800	23,5	29	20,5	19,62	15,7	13,8
П-51У4	6	1650	34,1	32,4	31,4	27,5	22,5	17,7
П-52У4	8	1750	43	41	39,2	34,1	27,5	19,62
П-61У4	11	1700	61,8	56,8	54,8	49,05	36,6	31,4
П-62У4	14	1800	74,5	68,5	63,5	56,8	44	32,1
П-71У4	19	1800	102	102	102	85	62,5	44
П-72У4	25	1800	132	136	132	112	83	57,5

10.4.3. Генераторы постоянного тока серии П

Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей приведены в табл. 10.22–10.26 и на рис. 10.10–10.12.

Двигатели серии П изготовлялись: 1–3-го габаритов – с изоляцией класса А (допускается В); 4–6-го габаритов – с изоляцией класса В; 7-го габарита защищенного и закрытого исполнения – с изоляцией класса F; обмотки возбуждения – с изоляцией класса В; 8–11-го габаритов – с изоляцией класса F.

Двигатели защищенного исполнения выполнялись: с самовентиляцией (1–11-й габариты); с независимой вентиляцией с подводом воздуха по трубам (7–11-й габариты); с независимой вентиляцией от пристроенного вентилятора (4–11-й габариты).

Двигатели закрытого исполнения выпускались:

с естественным охлаждением (типа ПБ 1–8-го габаритов);

с воздухоохладителем, пристроенным наверху двигателя (ПР 5–7-го габаритов).

Генераторы постоянного тока серии П выпускались в защищенном исполнении со стабильным и регулируемым напряжением. Генераторы на стабильное напряжение 115, 230 и 460 В изготовлялись со смешанным возбуждением. По особому заказу генераторы выполнялись с параллельным или независимым возбуждением с напряжением обмотки независимого возбуждения 110, 220 или 460 В.

Генераторы с регулируемым напряжением для зарядки аккумуляторных батарей изготовлялись с параллельным возбуждением на напряжения 110/160 и 220/320 В.

Для машин устанавливались следующие показатели надежности и долговечности: наработка до технического осмотра – 2000 ч, полный ресурс – 8000 ч, вероятность безотказной работы за период 2000 ч – 0,7 при доверительной вероятности 0,9.

Технические данные генераторов приведены в табл. 10.27. Габаритные, установочные и присоединительные размеры см. в табл. 10.22–10.26 и на рис. 10.10–10.12.

Таблица 10.22. Габаритные, установочные и присоединительные размеры машин серии П и ПБ 1–6-го габаритов (рис. 10.10–10.12)

Типоразмер машины	Размеры, мм							Масса, кг, при исполнении
	b_{10}	d_1	d_{20}	d_{30}	l_{10}	l_{30}	h	
								IM1001, IM2101, IM3601, IM2102, IM2103, IM3611, IM1004, IM2104, IM3631
П-11У4, ПБ-11У2	145	18	130	200	130	377	112	18,5 17
П-12У4, ПБ-12У2	145	18	130	200	155	402	112	23,5 21,8
П-21У4, ПБ-21У2	200	22	165	253	180	444	140	37,8 34,8
П-22У4, ПБ-22У2	200	22	165	253	205	469	140	43,8 40,8
П-31У4, ПБ-31У2	225	28	180	284	215	505	150	54,5 50,5
П-32У4, ПБ-3У2	225	28	180	284	260	550	150	67,5 62,5

Продолжение табл. 10.22

Типоразмер машины	Размеры, мм							Масса, кг, при исполнении	
	b_{10}	d_1	d_{20}	d_{30}	l_{10}	l_{30}	h		
								IM2101, IM2102, IM3601, IM2103, IM2104, IM3611, IM3631	
П-41У4, ПБ-41У2	240	30	215	304	195	546 576	160	83 87	78 82
П-42У4, ПБ-42У2	240	30	215	304	225	576 606	160	93 97	88 92
П-51У4, ПБ-51У2	264	35	255	352	225	606 638	180	122 127	115 120
П-52У4, ПБ-52У2	264	35	255	352	265	646 678	180	142 147	135 140
П-61У4, ПБ-61У2	300	40	300	411	265	634 664	225	173 178	165 170
П-62У4, ПБ-62У2	300	40	300	411	300	669 699	225	190 198	182 190

Таблица 10.23. Габаритные, установочные и присоединительные размеры машин серии П и ПБ 4—6-го габаритов (рис. 10.10—10.12)

Типоразмер машины	Размеры, мм						Масса, кг, при исполне- нии IM1001, IM1004
	b_{10}	d_1	d_{30}	l_{10}	l_{30}	h	
П-41У4, ПБ-41У2	240	30	304	195	546 576	160	78 82
П-42У4, ПБ-42У2	240	30	304	225	576 606	160	88 92
П-51У4, ПБ-52У2	264	35	352	225	606 638	180	115 120
П-52У4, ПБ-52У2	264	35	352	265	646 678	180	135 140
П-61У4, ПБ-61У2	300	40	411	265	634 664	225	165 170
П-62У4, ПБ-62У2	300	40	411	300	669 699	225	182 190

Таблица 10.24. Габаритные, установочные и присоединительные размеры машин серии П 4—6-го габаритов типа «Наездник» и тахогенератором (рис. 10.10—10.12)

Типоразмер машины	Размеры, мм							Масса, кг, при исполнении	
	b_{10}	d_1	d_{20}	d_{30}	l_{10}	l_{30}	h	IM2101	IM1001, IM3601
П-41У4	240	30	215	304	195	692 722	160 152	94,5 98,5	89,5 93,5

Продолжение табл. 10.24

Типоразмер машины	Размеры, мм							Масса, кг, при исполнении	
	b_{10}	d_1	d_{20}	d_{30}	l_{10}	l_{30}	h	IM2101	IM1001, IM3601
П-42У4	240	30	215	304	225	722 752	160 152	104,5 108,5	99,5 103,5
П-51У4	264	35	255	215	225	751 783	180 116	133,5 138,5	126,5 131,5
П-52У4	264	35	255	215	265	791 823	180 116	153,5 158,5	146,5 151,5
П-61У4	300	40	300	411	265	779 809	225 205	184,5 189,5	176,5 181,5
П-62У4	300	40	300	411	300	814 844	225 205	201,5 209,5	193,5 201,5

Таблица 10.25. Габаритные, установочные и присоединительные размеры машин серии П и ПБ 7-го габарита (рис. 10.10—10.12)

Типоразмер машины	Размеры, мм							Масса, кг
	b_{10}	d_1	d_{20}	d_{30}	l_{10}	l_{30}	h	
Исполнение IM1001								
П-71У4, ПБ-71У4	410	45	—	447	315	797	250	300
П-72У4, ПБ-72У4	410	45	—	447	355	837	250	340
Исполнения IM2001, IM2002, IM3002, IM3003								
П-71У4	410	45	400	447	315	830	250	310
П-72У4	410	45	400	447	355	870	250	350
Исполнение IM1002, IM2002, IM3001 с тахогенератором типа ТМГ-30								
П-71У4	410	45	400	447	315	938,5	250	306
П-72У4	410	45	400	447	355	978,5	250	346
Исполнение IM1001								
П-71У4	410	45	400	447	315	1016	250	306
П-72У4	410	45	400	447	355	1056	250	346
Исполнение IM1001 с вентилятором типа «Наездник»								
П-71У4	410	45	—	447	315	797	250	320
П-72У4	410	45	—	447	355	837	250	360
Исполнение IM3002 с вентилятором типа «Наездник»								
П-71У4	—	45	400	447	—	830	—	310
П-72У4	—	45	400	447	—	870	—	350

Таблица 10.26. Габаритные, установочные и присоединительные размеры машин серии П 8—11-го габаритов и ПБ 8-го габарита (рис. 10.10—10.12)

Типоразмер машины	Размеры, мм							Масса, кг
	b_{10}	d_1	d_{20}	d_{30}	l_{10}	l_{30}	h	
Исполнение IM1001								
П-81У4, ПБ-81У2	460	50	—	530	355	892	280	395
П-82У4, ПБ-82У2	460	50	—	530	395	932	280	430
П-91У4	550	65	—	605	400	1132	315	560
П-92У4	550	65	—	605	455	1187	315	660
П-101У4	600	75	—	665	460	1254	355	830
П-102У4	600	75	—	665	510	1304	355	950
П-111У4	650	90	—	740	535	1397	400	1150
П-112У4	650	90	—	740	585	1447	400	1340

Исполнение IM3002

П-81У4, ПБ-81У4	—	50	450	530	—	892	—	395
П-82У4, ПБ-82У4	—	50	450	530	—	982	—	430
П-91У4	—	65	660	605	—	1132	—	605
П-92У4	—	65	660	605	—	1187	—	705
П-101У4	—	75	740	665	—	1254	—	865
П-102У4	—	75	740	665	—	1304	—	985
П-111У4	—	90	830	740	—	1397	—	1180
П-112У4	—	90	830	740	—	1447	—	1370

Исполнения IM2001, IM2003

П-81У4, ПБ-81У4	460	50	450	530	355	892	280	395
П-82У4, ПБ-82У4	460	50	450	530	395	932	280	430
П-91У4	550	65	660	605	400	1132	315	605
П-92У4	550	65	660	605	455	1187	315	705
П-101У4	600	75	740	665	460	1254	355	865
П-102У4	600	75	740	665	510	1304	355	985
П-111У4	650	90	830	740	535	1397	400	1180
П-112У4	650	90	830	740	585	1447	400	1370

Таблица 10.27. Технические данные генераторов серии П

Продолжение табл. 10.27

Типоразмер генератора	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин	КПД, %	Типоразмер генератора	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин	КПД, %
П-21У4	0,37	115	1450	71	П-31У4	0,8	110/160	1450	80
	0,37	230	1450	70,5		0,8	220/320	1450	80
	0,4	110/160	1450	66,5		1	115	1450	75
	0,4	220/320	1450	66		1	230	1450	75
	1,1	110/160	2850	74		2,3	110/160	2850	80
	1,1	220/230	2850	74		2,3	220/320	2850	80
	1,25	115	2850	79		2,6	115	2850	80,5
	1,25	230	2850	79		2,6	230	2850	81
П-22У4	0,6	115	1450	75	П-32У4	1,3	110/160	1450	76
	0,6	230	1450	75		1,3	220/320	1450	76
	0,6	110/160	1450	69		1,5	115	1450	78,5
	0,6	220/320	1450	69,5		1,5	230	1450	79
	1,5	110/160	2850	79		3	110/160	2850	83
	1,5	220/320	2850	79		3	220/320	2850	83
	1,6	115	2850	83		3,8	115	2850	84,5
	1,6	230	2850	83,5		3,8	230	2850	85

Продолжение табл. 10.27

Типоразмер генератора	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин	КПД, %
П-41У4	2,1	110/160	1450	70,5
	2,1	220/320	1450	71
	2,7	115	1450	76
	2,7	230	1450	75,5
	4,8	110/160	2850	78
	4,8	220/320	2850	78,5
	6,2	11	2850	81
	6,2	230	2850	82,5
П-42У	2,8	460	1450	78
	2,9	110/160	1450	78
	2,9	220/320	1450	78
	3,2	115	1450	77,5
	3,2	230	1450	77,5
	5,8	110/160	2850	82
	5,8	220/320	2850	88
П-42У4	7,2	115	2850	83
	7,2	230	2850	83,5
П-51У4	2,6	230	970	75
	2,7	115	970	75
	4,2	110/160	1450	76,5
	4,2	220/320	1450	77
	4,6	460	1450	80
	5	115	1450	80
	5	230	1450	80,5
	8,5	110/160	2850	78,5
	8,5	220/320	2850	79
	11	115	2850	84
	11	230	2850	85,5
П-52У4	3,1	115	970	75
	3,1	230	970	75
	5,5	460	1450	81
	6	110/160	1450	78,5
	6	220/320	1450	79
	6,5	115	1450	83,5
	6,5	230	1450	82
	11	110/160	2850	81,5
	11	220/320	2850	82
	14	115	2850	86,5
	14	230	2850	87
П-61У4	4,5	115	970	81,5
	4,9	230	970	81,5
	7,2	110/160	1450	79,5
	7,2	220/320	1450	80
	9	115	1450	84,5
	9	230	1450	84
	9	460	1450	83,5
	14,5	110/160	2850	85,5
	14,5	220/320	2850	86
	18	230	2850	85,5
П-62У4	5,1	115	970	82
	5,1	230	970	82
	9,2	110/160	1450	80,5
	9,2	220/320	1450	81

Продолжение табл. 10.27

Типоразмер генератора	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин	КПД, %
П-62У4	11	460	1450	85,5
	11,5	115	1450	85,5
	11,5	230	1450	86
	22	110/160	2850	88
	22	220/320	2850	88,5
	25	230	2850	89,5
П-71У4	9,5	115	970	80
	9,5	230	970	80
	13	110/160	1450	81
	13	220/320	1450	78,5
	16	115	1450	79,5
	16	230	1450	73,5
П-72У4	12,5	115	970	82
	12,5	230	970	82
	17,5	110/160	1450	81
	17,5	220/320	1450	81
	21	115	1450	82,5
	21	230	1450	83
П-81У4	19	460	1450	81,5
	19	115	970	81
	19	230	970	81
	22	110/160	1450	81,5
	22	220/320	1450	81,5
	27	115	1450	84
П-82У4	27	230	1450	84
	27	460	1450	82,5
	25	115	970	83
	25	230	970	83
	25	460	970	82,5
	30	110/160	1450	86
П-91У4	30	220/320	1450	85
	35	115	1450	86,5
	35	230	1450	86,5
	35	460	1450	85
	32	115	970	84
	32	230	970	84
П-92У4	32	460	970	82,5
	43	110/160	1450	86,5
	43	220/320	1450	86,5
	50	115	1450	85
	50	230	1450	87
	50	460	1450	85,5
П-101У4	42	115	970	86
	42	230	970	86
	42	460	970	84,5
	60	110/160	1450	88
	60	220/320	1450	89
	65	460	1450	87,5
П-101У4	70	230	1450	89
	55	115	970	86,5
	55	230	970	86,5
	80	110/160	1450	87,5
	80	220/320	1450	87,5

Продолжение табл. 10.27

Типо- размер генератора	Мощ- ность, кВт	Напряже- ние, В	Частота враще- ния, об/мин	КПД, %
П-101У4	85	115	1450	90
	90	230	1450	89,5
	90	460	1450	88
П-102У4	65	460	970	85,5
	70	115	970	87
	70	230	970	87
	100	110/160	1450	87,5
	100	220/320	1450	90,5
	110	230	1450	90
П-111У4	110	460	1450	88,5
	90	115	970	87
	90	230	970	87
	90	460	970	85,5
	125	110/160	1450	88
	125	220/320	1450	88,5
	145	460	1450	88,5
П-112У4	150	230	1450	89
	110	460	970	86,5
	115	230	970	88
	155	220/320	1450	90,5
	170	460	1450	89,5
	190	230	1450	91

10.5. Двигатели постоянного тока серии ПБС (ПБСТ)

Двигатели серии ПБС (ПБСТ) предназначены для работы в широкорегулируемых электроприводах с диапазоном регулирования до 1:2000 (для станкостроения). Они имеют пять габаритов (со 2-го по 6-й) и выполняются как со встроенным тахогенератором (ПБСТ), так и без него (ПБС).

Машины этой серии соответствуют ТУ 16-514.207-77.

Двигатели предназначены для эксплуатации в продолжительном режиме работы S1 при высоте над уровнем моря не более 1000 м и температуре окружающего воздуха до 35°C (исполнение УХЛ4) или до 45°C (исполнение О4). Двигатели должны допускать работу в режиме S2 с длительностью рабочего периода 60 мин. Окружающая среда — невзрывоопасная, не содержащая агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию и снижающих параметры ДПТ в недопустимых пределах.

По точности установочных и присоединительных размеров ДПТ серии ПБС изготавливаются в двух исполнениях: повышенной точности и высокой точности.

Структура условного обозначения ДПТ:

$\frac{\text{ПБС}}{1}$
 $\frac{\text{Т}}{2}$
 $\frac{\text{Х}}{3}$
 $\frac{\text{Х}}{4}$
 $\frac{\text{Х}}{5}$
 $\frac{\text{Х}}{6}$
 $\frac{\text{Х}}{7}$

где 1 — ПБС — название серии двигателей постоянного тока в закрытом исполнении с естественным охлаждением для привода станков;

2 — буква Т обозначает наличие тахогенератора типа ТС-ИМ. В обозначении ДПТ без тахогенераторов буква отсутствует;

3 — условный габарит — цифра от 2 до 6;

4 — условная длина сердечника якоря (цифра 2 — вторая длина, цифра 3 — третья);

5 — буква М — модернизированный;

6 — буква В — ДПТ высокой точности по установочным и присоединительным размерам; в обозначении ДПТ повышенной точности буква отсутствует;

7 — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

Двигатели серии ПБС (табл. 10.28) изготавливаются с независимым возбуждением, без стабилизирующей последовательной обмотки. Устойчивая работа ДПТ обеспечивается схемой управления электропривода. Напряжение возбуждения устанавливается при заказе и может быть 110 или 220 В.

Двигатели допускают регулирование частоты вращения вверх от номинальной (при постоянной мощности) ослаблением поля главных полюсов или при кратковременных режимах длительностью не более 5 мин при полном потоке — изменением напряжения на якоре. При этом для ДПТ с напряжением 110 В допускается повышение напряжения при номинальном токе якоря до 220 В, с напряжением 220 В — до 330 В, с напряжением 440 В — до 510 В. Частота вращения не должна превышать в ДПТ 2—4-го габаритов 4000 об/мин, 5—6-го габаритов — 3600 об/мин.

Двигатели допускают работу с малыми частотами вращения (0,5—1,5 об/мин) при номинальном возбуждении и моменте, не превышающем номинальный.

Предельные отклонения частоты вращения от номинальной при номинальной нагрузке, номинальном напряжении на якоре и обмотке возбуждения при установившемся тепловом режиме не должно превышать +15%, —5%.

Двигатели допускают: перегрузку по току до $4I_{\text{ном}}$ в течение 10 с при номиналь-

Таблица 10.28. Технические данные двигателей серии ПБС и ПБСТ

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт		Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %
	номинальная	максимальная		номинальная	максимальная	
ПБС-22МУХЛ4 ПБСТ-22МУХЛ4	0,4 0,4 0,6 0,6 0,85 0,85 1 1	0,56 0,56 0,8 0,8 1,2 1,2 1,4 1,4	110 220 110 220 110 220 110 220	1000 1000 1500 1500 2200 2200 3000 3000	2500 2500 3750 3750 4000 4000 4000 4000	70 70,5 74 76 78 77 79,5 78,5
ПБС-23МУХЛ4 ПБСТ-23МУХЛ4	0,55 0,55 0,85 0,85 1,15 1,15 1,3 1,3	0,77 0,77 1,2 1,2 1,6 1,6 1,8 1,8	110 220 110 220 110 220 110 220	1000 1000 1500 1500 2200 2200 300 3000	2500 2500 3750 3750 4000 4000 4000 4000	71 70 80,5 77 80,5 80 80 80
ПБС-32МУХЛ4 ПБСТ-32МУХЛ4	0,8 0,8 1,2 1,2 1,5 1,5 1,75	1,1 1,1 1,7 1,7 2,1 2,1 2,4	110 220 110 220 110 220 220	1000 1000 1500 1500 2200 2200 3000	2500 2500 3750 3750 4000 4000 4000	75 75 79,5 80 82,5 82 81,5
ПБС-33МУХЛ4 ПБСТ-33МУХЛ4	1 1 1,6 1,6 1,6 2,10 2,35	1,4 1,4 2,2 2,2 2,2 2,9 3,3	110 220 110 110 220 220 220	1000 1000 1500 1500 1500 2200 3000	2500 2500 3750 3750 3750 4000 4000	79 79 82,4 82,4 82 85 84
ПБС-42МУХЛ4 ПБСТ-42МУХЛ4	1,4 1,4 1,4 2,1 2,1 2,1 2,9 2,9 2,9 3,4 3,4	2 2 2 2,9 2,9 2,9 4 4 4 4,8 4,8	110 220 440 110 220 440 110 220 440 220 440	1000 1000 1000 1500 1500 1500 2200 2200 2200 3000 3000	2500 3000 — 3750 3750 — 4000 4000 — 4000 —	79 78 78 84,5 83,5 83,5 86 86,5 86,5 86,5 86,5
ПБС-43МУХЛ4 ПБСТ-43МУХЛ4	1,9 1,9 1,9 2,8 2,8 3,8 3,8 4,3 4,3	2,7 2,7 2,7 3,9 5,3 5,3 6 6	110 220 440 220 440 220 440 220 440	1000 1000 1000 1500 1500 2200 2200 3000 3000	2500 2500 2500 3750 4000 — 4000 —	80 80 81 85,5 85 87,5 86,5 88 88

Продолжение табл. 10.28

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт		Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %
	номинальная	максимальная		номинальная	максимальная	
ПБС-52МУХЛ4 ПБСТ-52МУХЛ4	2,5	3,8	220	1000	3000	83
	2,5	3,8	440	1000	—	81,5
	4,2	6,2	220	1500	3600	87
	4,5	6,2	440	1500	—	87
	5,5	8,3	220	2200	3600	88,5
	5,5	8,3	440	2200	—	89
	6,5	9,8	220	3000	3600	88,5
	6,5	9,8	440	3000	—	89
ПБС-53МУХЛ4 ПБСТ-53МУХЛ4	3,3	5	220	1000	3000	86,5
	3,3	5	440	1000	—	86,5
	4,8	7,2	220	1500	3600	88
	4,8	7,2	440	1500	—	87
	6,3	9,4	220	2200	3600	90
	6,3	9,4	440	2200	—	90
	8	12	220	3000	3600	91
	8	12	440	3000	—	91
ПБС-62МУХЛ4 ПБСТ-62МУХЛ4	4,7	7	220	1000	3000	87
	4,7	7	440	1000	—	87
	7,2	10,8	220	1500	3600	90
	7,2	10,8	440	1500	—	90
	10	15	220	2200	3600	90
	10	15	440	2200	—	90
	11,3	17	220	3000	3600	91
	11,3	17	440	3000	—	91
ПБС-63МУХЛ4	5,4	8	220	1000	3000	88
	5,4	8	440	1000	—	88
	7,8	11,7	220	1500	3600	91
	7,8	11,7	440	1500	—	91
	11	16,5	220	2200	3600	91,5
	11	16,5	440	2200	—	91,5
ПБС-22МО4 ПБСТ-22МО4	0,36	0,5	110	1000	2500	70
	0,36	0,5	220	1000	2500	70,5
	0,54	0,72	110	1500	3750	74
	0,54	0,72	220	1500	3750	76
	0,76	1,04	110	2200	4000	78
	0,76	1,04	220	2200	4000	77
	0,9	1,26	110	3000	4000	79,5
	0,9	1,26	220	3000	4000	78,5
ПБС-23МО4 ПБСТ-23МО4	0,5	0,7	110	1000	2500	71
	0,5	0,7	220	1000	2500	70
	0,76	1,08	110	1500	3750	80,5
	0,76	1,08	220	1500	3750	77
	1	1,44	110	2200	4000	80,5
	1	1,44	220	2200	4000	80
	1,15	1,63	110	3000	4000	80
	1,15	1,63	220	3000	4000	80
ПБС-32МО4 ПБСТ-32МО4	0,72	1	110	1000	2500	75
	0,72	1	220	1000	2500	75
	1,05	1,53	110	1500	3750	79,5
	1,05	1,53	220	1500	3750	80
	1,35	1,9	110	2200	4000	82,5
	1,35	1,9	220	2200	4000	82

Продолжение табл. 10.28

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт		Напряже- ние, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %
	номи- нальная	макси- мальная		номи- нальная	макси- мальная	
ПБС-32МО4 ПБСТ-32МО4	1,6	2,17	220	3000	4000	81,5
ПБС-33МО4 ПБСТ-33МО4	0,9 0,9 1,4 1,4 1,9 2,1	1,26 1,26 2 2 2,6 2,95	110 220 110 220 220 220	1000 1000 1500 1500 2200 3000	2500 2500 3750 3750 4000 4000	79 79 82,4 82 85 84
ПБС-42МО4 ПБСТ-42МО4	1,3 1,3 1,3 1,9 1,9 1,9 2,1 2,6 2,6 3,1 3,1	1,8 1,8 1,8 2,6 2,6 2,6 3,6 3,6 3,6 4,3 4,3	110 220 440 110 220 440 440 110 220 220 220 440	1000 1000 1000 1500 1500 1500 2200 2200 4000 4000 3000 3000	2500 3000 — 3750 3750 — — — 4000 4000 4000 —	79 78 78 84,5 83,5 83,5 83,5 86 86,5 86,5 86,5 86,5
ПБС-43МО4 ПБСТ-43МО4	1,7 1,7 1,7 2,5 2,5 3,4 3,4 3,9 3,9	2,45 2,45 2,45 3,5 3,5 4,8 4,8 5,4 5,4	110 220 440 220 440 220 440 220 440	1000 1000 1000 1500 1500 2200 2200 3000 3000	2500 3000 — 3750 — 4000 — 4000 —	80 80 81 86,5 85 87 86 88 88
ПБС-52МО4 ПБСТ-52МО4	2,2 2,2 3,7 3,7 5 5 5,9	3,4 3,4 5,6 5,6 7,5 7,5 8,85	220 440 220 440 220 440 440	1000 1000 1500 1500 2200 2200 3000	3000 — 3600 — 3600 — —	83 81,5 87 87 88,5 89 89
ПБС-53МО4 ПБСТ-53МО4	3 3 4,3 4,3 5,7 5,7 7,2 7,2	4,5 4,5 6,5 6,5 8,5 8,5 10,4 10,4	220 440 220 440 220 440 220 440	1000 1000 1500 1500 2200 2200 3000 3000	3000 — 3500 — 3600 — — —	86,5 86,5 88 87 90 90 91 91
ПБС-62МО4 ПБСТ-62МО4	4,2 4,2 6,5 6,5 9 9 10 10	6,3 6,3 9,7 9,7 13,5 13,5 15,3 15,3	220 440 220 440 220 440 220 440	1000 1000 1500 1500 2200 2200 3000 3000	3000 — 3600 — 3600 — 3600 —	87 87 90 90 90 90 91 91

Продолжение табл. 10.28

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт		Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %
	номинальная	максимальная		номинальная	максимальная	
ПБС-63МО4	4,9	7,2	220	1000	3000	88
ПБСТ-63МО4	4,9	7,2	440	1000	—	88
	7	10,5	220	1500	3600	91
	7	10,5	440	1500	—	91
	10	15	220	2200	3600	91,5
	10	15	440	2200	—	91,5

ном возбуждении (момент вращения при этом должен быть не менее $2,5M_{\text{ном}}$ для ДПТ с номинальной частотой вращения 3000 об/мин и не менее $3M_{\text{ном}}$ для ДПТ с меньшими номинальными частотами вращения); перегрузку по току до $2I_{\text{ном}}$ в течение 10 с при ослабленном поле при максимальной частоте вращения.

Двигатели — реверсивные. Допустимое число реверсов в час — не более 400 при условии, что среднеквадратичный ток якоря не превышает номинального. Разность частот вращения ДПТ при изменении направления вращения (при номинальных значениях нагрузки, напряжения и тока возбуждения) не должна превышать 5%.

Эффективные значения вибрационной скорости должны соответствовать по ГОСТ 16921-83: для ДПТ повышенной точности 2—5-го габаритов — классу 1,8, 6-го габарита — классу 2,8; для ДПТ высокой точности 2—5-го габаритов — классу 1,1, 6-го габарита — классу 1,8.

Средний уровень звука по ГОСТ 16372-84 должен соответствовать классу 2 для ДПТ повышенной точности, классу 3 для ДПТ высокой точности.

Степень искрения на коллекторе не должна превышать по ГОСТ 183-74:

$1\frac{1}{2}$ для ДПТ и тахогенераторов при номинальной нагрузке, номинальных напряжениях на якоре и обмотке возбуждения;

2 для ДПТ при наибольшей частоте вращения при ослабленном поле.

Степень искрения на коллекторе ДПТ при перегрузках, в переходных режимах и при перенапряжении не оговаривается, но коллектор и щетки должны быть в состоянии, пригодном для дальнейшей работы без предварительной чистки коллектора. При этом допускаются следы подгара на кромках коллекторных пластин и щеток.

Двигатели изготавливаются без устройства для подавления помех радиоприему.

Двигатели изготавливаются с встроенным тахогенератором типа ТС-1М и без тахогенератора.

Основные данные тахогенератора типа ТС-1М:

Мощность, Вт	5
Напряжение якоря, В	100
Частота вращения, об/мин	3000
Тип возбуждения	Постоянные магниты

Допустимое отклонение кривой напряжения якоря тахогенератора от линейности при номинальном сопротивлении нагрузки тахогенератора не должно превышать 2%.

Разность между напряжениями тахогенератора, измеренными при двух различных направлениях вращения якоря и одинаковых частотах вращения, должны быть не более 2% установленного значения напряжения.

Изменение напряжения тахогенератора при переходе от холодного к нагретому состоянию обмоток тахогенератора и ДПТ не должно быть более 2%.

Пульсации выходного напряжения тахогенератора, %, должны быть не более указанных ниже значений в диапазоне изменения частот вращения тахогенератора:

От номинальной до 0,1 номинальной	2
От 0,1 номинальной до 0,01 номинальной	3
От 0,01 номинальной до 0,001 номинальной	5
Не более 0,001 номинальной	10

Двигатели 2-го и 3-го габаритов должны изготавливаться с изоляцией класса нагревостойкости В; 4—6-го габаритов: для обмоток якорной цепи — класса нагревостойкости F, для независимой обмотки — класса нагревостойкости В.

Способ охлаждения — IС0041 по ГОСТ 20459-75.

Двигатели и тахогенераторы должны допускать следующие средние превышения температуры обмоток и коллектора: 85°C для ДПТ с изоляцией класса В; 105°C для ДПТ с изоляцией класса F.

Двигатели и тахогенераторы, поставляемые на экспорт в страны с тропическим климатом, должны допускать следующие превышения температуры обмоток: 80°C для ДПТ с изоляцией класса В; 100°C для ДПТ с изоляцией класса F.

Для ДПТ устанавливаются следующие показатели надежности:

Средний срок службы, лет	15
Средний ресурс, ч	24 000
Вероятность безотказной работы при доверительной вероятности 0,8 в течение:	
4000 ч	0,97
8000 ч	0,94
16 000 ч	0,90

Двигатели и тахогенераторы изготавлиются со степенью защиты IP44 по ГОСТ 17494-72.

Двигатели ПБС и ПБСТ имеют исполнения IM1001, IM2101, IM3601, IM3611, IM3631; ДПТ типа ПБС-22, ПБС-32 кроме указанных выше — IM4001.

Коробка выводов расположена на станине слева, если смотреть со стороны привода. По особому заказу ДПТ могут изготавливаться с коробкой выводов, расположенной на станине справа.

Выводные концы якоря тахогенератора ТС-IM должны быть расположены в коробке выводов ДПТ.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры ДПТ серий ПБС и ПБСТ приведены в табл. 10.29 (рис. 10.10—10.12).

Таблица 10.29. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии ПБС (ПБСТ)

Типоразмер двигателя	Размеры, мм							Масса, кг	Момент инерции, кг·м ²
	b_{10}	d_1	d_{20}	d_{30}	l_{10}	l_{30}	h		

Исполнение IM1001 (рис. 10.10, а)

ПБС-22М	200	22	—	250	205	458	140	52	0,011
ПБС-23М	200	22	—	250	235	488	140	60	0,012
ПБС-32М	225	28	—	284	260	528	150	78	0,024
ПБС-33М	225	28	—	284	310	578	150	90	0,031
ПБС-42М	240	30	—	304	225	564	160	93	0,045
ПБС-43М	240	30	—	304	270	609	160	109	0,056
ПБС-52М	264	36	—	350	265	627	180	140	0,109
ПБС-53М	264	36	—	350	315	677	180	159	0,129
ПБС-62М	300	40	—	410	300	682	225	198	0,256
ПБС-63М	300	40	—	410	350	732	225	240	0,306

Исполнение IM2101 (рис. 10.11, а)

ПБС-22М	200	22	165	250	205	458	140	53	0,011
ПБС-23М	200	22	165	250	235	488	140	61	0,012
ПБС-32М	225	28	185	284	260	528	150	79	0,024
ПБС-33М	225	28	185	284	310	578	150	91	0,031
ПБС-42М	240	30	215	304	225	564	160	97	0,045
ПБС-43М	240	30	215	304	270	609	160	113	0,056
ПБС-52М	264	36	265	350	265	627	180	146	0,109
ПБС-53М	264	36	265	350	315	677	180	165	0,129
ПБС-62М	300	40	300	410	300	682	225	208	0,256
ПБС-63М	300	40	300	410	350	732	225	250	0,306

Исполнения IM3601, IM3611, IM3631 (рис. 10.12, а)

ПБС-22М	—	22	165	250	—	458	—	51	0,011
ПБС-23М	—	22	165	250	—	488	—	59	0,012
ПБС-32М	—	28	185	284	—	528	—	77	0,024
ПБС-33М	—	28	185	284	—	578	—	88	0,031
ПБС-42М	—	30	215	304	—	575	—	95	0,045
ПБС-43М	—	30	215	304	—	620	—	111	0,056
ПБС-52М	—	36	265	350	—	646	—	142	0,109

Продолжение табл. 10.29

Типоразмер двигателя	Размеры, мм							Масса, кг	Момент инерции, кг·м ²
	<i>b</i> ₁₀	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂₀	<i>d</i> ₃₀	<i>l</i> ₁₀	<i>l</i> ₃₀	<i>h</i>		
ПБС-53М	—	36	265	350	—	696	—	161	0,129
ПБС-62М	—	40	300	410	—	703	—	204	0,256
ПБС-63М	—	40	300	410	—	753	—	246	0,306

Исполнение IM1001 (рис. 10.10, б)

ПБСТ-22М	200	22	—	250	205	596	140	57	0,012
ПБСТ-23М	200	22	—	250	235	624	140	65	0,014
ПБСТ-32М	225	28	—	284	260	666	150	83	0,025
ПБСТ-33М	225	28	—	284	310	716	150	95	0,032
ПБСТ-42М	240	30	—	304	225	708	160	98	0,046
ПБСТ-43М	240	30	—	304	270	753	160	114	0,057
ПБСТ-52М	264	36	—	350	265	768	180	145	0,11
ПБСТ-53М	264	36	—	350	315	818	180	164	0,13
ПБСТ-62М	300	40	—	410	300	826	200	203	0,26
ПБСТ-63М	300	40	—	410	350	876	200	245	0,307

Исполнения IM3601, IM3611, IM3631 (рис. 10.12, б)

ПБСТ-22М	—	22	165	250	—	594	—	56	0,012
ПБСТ-23М	—	22	165	250	—	624	—	64	0,014
ПБСТ-32М	—	28	185	284	—	666	—	82	0,025
ПБСТ-33М	—	28	185	284	—	716	—	92	0,032
ПБСТ-42М	—	30	215	304	—	708	—	100	0,046
ПБСТ-43М	—	30	215	304	—	753	—	116	0,057
ПБСТ-52М	—	36	265	350	—	768	—	147	0,11
ПБСТ-53М	—	36	265	350	—	818	—	166	0,13
ПБСТ-62М	—	40	300	410	—	826	—	209	0,26
ПБСТ-63М	—	40	300	410	—	876	—	240	0,306

Исполнение IM4001 (рис. 10.12а)

ПБС-22М	—	22	277	250	—	458	—	54	0,011
ПБС-32М	—	28	305	284	—	528	—	80	0,024

10.6. Двигатели постоянного тока серии ПС (ПСТ)

Двигатели серий ПС и ПСТ (табл. 10.30) выполняются повышенной и высокой точности и предназначены для работы в широко-регулируемых приводах металлорежущих станков. Они изготавливаются по ТУ 16-515.050-76.

Климатическое исполнение — единое, предназначенное для эксплуатации в условиях, нормированных для исполнения УХЛ категории 4 и исполнения О4 категории 4 по ГОСТ 15150-69.

Структура условного обозначения ДПТ серий ПС и ПСТ:

ПС	X	—	X	X	X	X
Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т
1	2	3	4	5	6	

где 1 — название серии ПС — двигатели по-

стоянного тока для приводов металлорежущих станков;

2 — буква Т — наличие встроенного тахогенератора (в обозначении двигателей без тахогенератора буква отсутствует);

3 — условный габарит от 3 до 5;

4 — условная длина сердечника якоря от 1 до 3;

5 — буква М — модернизированный;

6 — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

Номинальный режим работы ДПТ — продолжительный S1. Номинальные значения климатических факторов: высота над уровнем моря — до 1000 м, температура окружающего воздуха — от 0 до 40 °С. Окружающая среда — невзрывоопасная, не содержащая агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию и снижающих параметры ДПТ в недопустимых пределах.

Таблица 10.30. Технические данные двигателей ПС и ПСТ

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		КПД, %	Максимальный момент, Н·м
			номинальная	максимальная		
ПС(Т)-31МУХЛ4	0,18	110	2200	4000	63	0,14
	0,25	110	3000	4000	64	0,14
ПС(Т)-41МУХЛ4	0,18	110	1500	3000	62	0,21
	0,12	110	1500	2000	60	0,22
	0,25	110	2200	4000	69	0,21
	0,37	110	3000	4000	70	0,21
	0,2	110	1000	2000	63	0,54
	0,2	220	1000	2000	63	0,44
ПС(Т)-51МУХЛ4	0,37	110	1500	3000	67	0,4
	0,37	220	1500	3000	66	0,4
	0,55	110	2200	4000	73	0,41
	0,55	220	2200	4000	73	0,41
ПС(Т)-52МУХЛ4	0,37	110	1000	2000	68	0,61
	0,37	220	1000	2000	69	0,61
	0,55	110	1500	3000	72	0,60
	0,55	220	1500	3000	72	0,6
	0,75	110	2200	4000	78	0,61
	0,75	220	2200	4000	79	0,61
	0,75	220	3000	4000	78	—
ПС-52МУХЛ4	0,75	220	3000	4000	78	—
ПС(Т)-53МУХЛ4	0,4	110	1000	2000	71	0,9
	0,4	220	1000	2000	70	0,9
	0,63	110	1500	3000	76	0,9
	0,63	220	1500	3000	76	0,9
	0,9	110	2200	4000	80	0,83
	0,9	220	2200	4000	80	0,83
	1,1	220	3000	4000	81	0,9

Примечание. Значения максимального момента указаны при перегрузке по току при номинальном напряжении возбуждения.

Двигатели должны соответствовать группе условий эксплуатации М8 по ГОСТ 17516-72.

Двигатели допускают работу в режиме с длительностью рабочего периода 60 мин с данными, приведенными в табл. 10.31.

Двигатели изготавливаются с независимым возбуждением, без стабилизирующей последовательной обмотки. Напряжение возбуждения: ДПТ 3-го и 4-го габаритов — 110 В, 5-го габарита — 110 или 220 В.

Двигатели допускают работу при малых частотах вращения — до 1 об/мин при номинальном возбуждении и моменте, не превышающем номинальный.

Двигатели — реверсивные. Они допускают регулирование частоты вращения вверх от номинальной путем уменьшения тока возбуждения до максимальных значений частоты вращения, указанных в табл. 10.31, при мощности на валу не выше номинальной.

Отклонение фактических частот вращения двигателей при номинальной нагрузке,

номинальном напряжении на якоре и номинальном токе возбуждения при установившейся температуре не должно превышать +20% и —5% номинальной величины.

Разность частот вращения ДПТ при изменении направления вращения при номинальной нагрузке, номинальном напряжении на якоре и номинальном токе возбуждения не должна превышать 5%.

Двигатели должны без повреждений и остаточных деформаций выдерживать в течение 2 мин повышение частоты вращения до 5200 об/мин.

Степень искрения щеток ДПТ и тахогенераторов при номинальной нагрузке, номинальных напряжениях на якоре и обмотке возбуждения не должна превышать $1\frac{1}{2}$ по ГОСТ 187-74, при небольшой частоте вращения при ослабленном поле не должна превышать 2.

Двигатели допускают: перегрузку по току в течение 10 с при моменте, не превышающем значения, указанного в табл. 10.30, при номинальных

Таблица 10.31. Допустимая мощность двигателей серий ПС и ПСТ в режиме с длительностью рабочего периода 60 мин

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Номинальная частота вращения, об/мин
ПС(Т)-31МУХЛ4	0,27	110	2200
	0,35	110	3000
ПС(Т)-41МУХЛ4	0,27	110	1500
	0,37	110	2200
	0,55	110	3000
	0,37	110	1000
ПС(Т)-51МУХЛ4	0,5	110	1500
	0,8	110	2200
	0,37	220	1000
	0,5	220	1500
	0,8	220	2200
	0,55	110	1000
	0,82	110	1500
	1,1	110	2200
ПС(Т)-52МУХЛ	0,55	220	1000
	0,82	220	1500
	1,1	220	2200
	0,82	110	1000
	1,1	110	1500
ПС(Т)-53МУХЛ	1,5	110	2200
	0,82	220	1000
	0,82	220	1000
	1,1	220	1500
	1,5	220	2200

напряжениях на якоре и обмотке возбуждения;

перегрузку по току $1,5I_{\text{ном}}$ в течение до 10 с в режиме ослабленного поля;

регулирование частоты вращения вверх от номинальной при полном потоке изменением напряжения на якоре при кратковременных режимах длительностью не более 5 мин. При этом допускается повышение напряжения при номинальном токе якоря для ДПТ с номинальными напряжениями от 110 до 220 В и от 220 до 330 В.

Степень искрения при перегрузках, при перенапряжении и в переходных режимах ослабления поля не оговаривается. Коллектор и щетки при этом должны быть в состоянии, пригодном для дальнейшей работы без предварительной чистки коллектора. При этом допускаются следы подгара на кромках коллекторных пластин и щеток. В указанных режимах частота вращения не должна превышать 4000 об/мин, превышение температуры не оговаривается.

Двигатели изготавливаются без устройства для подавления помех радиоприему.

Эффективное значение вибрационной скорости должно соответствовать: классу 1,1

для ДПТ повышенной точности; классу 0,7 по ГОСТ 16921-71 для ДПТ высокой точности.

Средний уровень звука должен соответствовать: классу 2 для ДПТ повышенной точности, классу 3 по ГОСТ 16372-77 для ДПТ высокой точности.

Для ДПТ устанавливаются следующие показатели надежности и долговечности:

Срок службы, лет 12
 Средний ресурс, ч 20000
 Вероятность безотказной работы за 4000 ч при доверительной вероятности 0,8 0,98

Двигатели изготавливаются с встроенным тахогенератором типа ТС-1М и без тахогенератора. Основные данные тахогенератора:

Мощность, Вт 5
 Напряжение, В 100
 Частота вращения, об/мин 3000
 Допуск на номинальное напряжение $\pm 2\%$

Двигатели выполняются с изоляцией класса В.

Двигатели и тахогенераторы изготавлиются по степени защиты исполнения IP44 и имеют конструктивные исполнения IM1001, IM3001 по ГОСТ 2479-79. По согласованию с заказчиком ДПТ типа ПС53УХЛ4 могут быть изготовлены в исполнении IM4001.

Двигатели допускают сочленение вала с валом рабочего механизма с помощью эластичной муфты и зубчатой передачи.

Коробка выводов расположена слева, если смотреть со стороны коллектора. По согласованию с заказчиком коробка выводов может быть расположена справа.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры даны в табл. 10.32 (см. рис. 10.10 и 10.12).

10.7. Замена машин постоянного тока общего назначения серий П, ПБС и ПС на серию 2П

В настоящее время основной серией электрических машин постоянного тока является серия 2П. Изготовление машин постоянного тока общего назначения серий П, ПБС, ПС прекращается. Машины этих серий могут быть заменены соответствующими машинами серии 2П (табл. 10.33 и 10.34).

Таблица 10.32. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей серии ПС, ПСТ

Типоразмер двигателя	Размеры, мм							Масса, кг	Момент инерции, кг · м ²
	<i>b</i> ₁₀	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂₀	<i>d</i> ₃₀	<i>l</i> ₁₀	<i>l</i> ₃₀	<i>h</i>		
Исполнение IMi001 (рис. 10.10, а)									
ПС-31	125	16	—	156	100	333	80	15	0,0028
ПС-41	140	16	—	174	100	333	90	19	0,0035
ПС-51	160	22	—	194	112	369	100	29	0,0072
ПС-52	160	22	—	194	140	394	100	33	0,0095
ПС-53	160	22	—	194	140	414	100	37	0,0118
Исполнение IM3001 (рис. 10.12, а)									
ПС-31	—	16	215	156	—	333	—	18	0,028
ПС-41	—	16	215	174	—	333	—	22	0,0035
ПС-51	—	22	265	194	—	369	—	33	0,0072
ПС-52	—	22	265	194	—	394	—	37	0,0095
ПС-53	—	22	265	194	—	414	—	41	0,0118
Исполнение IM001 (рис. 10.10, б)									
ПСТ-31	125	16	—	156	100	456	80	19	0,003
ПСТ-41	140	16	—	174	100	456	90	24	0,0035
ПСТ-51	160	22	—	194	112	492	100	34	0,0075
ПСТ-52	160	22	—	194	140	517	100	38	0,0098
ПСТ-53	160	22	—	194	140	537	100	42	0,012
Исполнение IM3001 (рис. 10.12, б)									
ПСТ-31	—	16	215	156	—	456	—	23	0,003
ПСТ-41	—	16	215	174	—	456	—	27	0,0035
ПСТ-51	—	22	265	194	—	492	—	38	0,0075
ПСТ-52	—	22	265	194	—	517	—	42	0,0098
ПСТ-53	—	22	265	194	—	537	—	46	0,012

Таблица 10.33. Рекомендации по замене двигателей серий П, ПБС и ПС двигателями серии 2П

Типоразмер заменяемого двигателя	Мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин, при напряжении, В			Типоразмер двигателя серии 2П	Мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин, при напряжении, В		
			110	220	440				110	220	440
П-91	19	600	1200	1200	—	2ПФ225L	18,5	600	—	2100	—
П-91	19	600	1200	1200	—	2ПФ250M	22	600	—	2100	—
П-92	25	600	1200	1200	—	2ПФ250L	28	600	—	2100	—
П-101	32	600	1200	1200	—	2ПФ280M	37	600	—	1500	1500
П-102	42	600	1200	1200	—	2ПФ280L	45	600	—	1500	1200
П-111	55	600	1200	1200	—	2ПФ315M	55	600	—	1500	1500
П-112	70	600	—	1200	—	2ПФ315L	75	630	—	1500	1500
П-62	4,5	600	—	2400	—	2ПН180M	5,6	750	3000	2500	1850
П-72	6	600	—	2400	—	2ПН200M	8,5	800	3000	2500	1850
П-81	8	600	2250	1200	—	2ПН225M	11	600	—	2100	—
П-91	19	600	1200	1200	—	2ПН250M	18,5	600	—	1800	—
П-91	19	600	1200	1200	—	2ПН250L	22	600	—	2100	1800
П-92	25	600	1200	1200	—	2ПН280M	30	600	—	1500	1500
П-101	32	600	1200	1200	—	2ПН280L	37	600	—	1500	1500
П-102	42	600	1200	1200	—	2ПН315M	45	600	—	1500	1500
П-111	55	600	1200	1200	—	2ПН315L	55	600	—	1500	1500
П-81	14	750	1500	1500	—	2ПФ225M	18,5	750	—	2500	—

Продолжение табл. 10.33

Типораз- мер заме- няемого двигателя	Мощ- ность, кВт	Номи- нальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин, при напряжении, В			Типораз- мер двига- теля серии 2П	Мощ- ность, кВт	Номи- нальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин, при напряжении, В		
			110	220	440				110	220	440
П-82	19	750	1500	1500	—	2ПФ225L	22	750	—	2500	—
П-91	25	750	1500	1500	—	2ПФ250М	30	750	—	2000	—
П-92	32	750	1500	1500	1000	2ПФ250L	37	750	—	2000	—
П-101	42	750	1500	1500	1000	2ПФ280М	45	750	—	2000	1200
П-102	55	750	1500	1500	800	2ПФ280L	55	750	—	1900	1000
П-111	75	750	—	1500	800	2ПФ315М	75	750	—	1700	1800
П-112	85	750	—	1500	1000	2ПФ315L	90	750	—	1800	1800
П-21	0,2	750	1500	1500	—	2ПН90L	0,2	750	3000	1500	—
П-31	0,45	750	1500	1500	—	2ПН100L	0,42	750	3000	1500	—
П-31	0,45	750	—	3000	—	2ПН112М	0,6	800	3000	2500	—
П-32	0,7	750	1500	1500	—	2ПН112L	0,8	750	3000	2500	—
П-32	0,7	750	—	3000	—	2ПН112L	0,8	750	3000	2500	—
П-41	1	750	1500	1500	—	2ПН132М	1,6	750	3000	2500	—
П-41	1	750	—	3000	—	2ПН132М	1,6	750	3000	2500	—
П-42	1,5	750	1500	1500	—	2ПН132М	1,6	750	3000	2500	—
П-42	1,5	750	—	3000	—	2ПН132М	1,6	750	3000	2500	—
П-51	2,2	750	1500	1500	—	2ПН132L	1,9	750	3000	2500	1850
П-51	2,2	750	—	3000	—	2ПН132L	1,9	750	3000	2500	1850
П-52	3,2	750	1500	1500	—	2ПН160М	3	750	3000	2500	1850
П-52	3,2	750	—	3000	—	2ПН160М	3	750	3000	2500	1850
П-61	4,5	750	1500	1500	—	2ПН160L	4	750	3000	2500	1850
П-62	6	750	1500	1500	—	2ПН180М	5,6	750	3000	2500	1850
П-71	7	750	1500	1500	—	2ПН180L	7,1	750	3000	2500	1800
П-72	10	750	1500	1500	—	2ПН200L	11	800	3000	2500	1850
П-81	14	750	1500	1500	—	2ПН225М	15	750	—	2500	—
П-82	19	750	1500	1500	—	2ПН225L	18,5	750	—	2500	1500
П-82	19	750	1500	1500	—	2ПН250М	22	750	—	2000	2400
П-91	25	750	1500	1500	—	2ПН250М	22	750	—	2000	2400
П-91	25	750	1500	1500	—	2ПН250L	30	750	—	2000	—
П-92	32	750	1500	1500	1000	2ПН280М	45	750	—	2000	1200
П-101	42	750	1500	1500	1000	2ПН280М	45	750	—	2000	1200
П-102	55	750	1500	1500	800	2ПН280L	55	750	—	2000	—
П-102	55	750	1500	1500	800	2ПН315М	55	750	—	—	1800
П-111	75	750	—	1500	800	2ПН315L	75	750	—	1800	1800
П-81	19	1000	2000	2000	1800	2ПФ225М	22	1000	—	1000	1000
П-82	25	1000	2000	2000	1000	2ПФ225L	30	1060	—	2500	2250
П-91	32	1000	1800	2000	1350	2ПФ250М	37	1060	—	2500	2500
П-92	42	1000	—	2000	1050	2ПФ250L	45	1000	—	2500	1500
П-101	55	1000	1500	1500	1000	2ПФ280М	75	1000	—	2250	2250
П-102	75	1000	—	1500	1250	2ПФ280М	75	1000	—	2250	2250
П-111	100	1000	—	1500	1250	2ПФ315М	110	1000	—	2250	—
П-112	125	1000	—	1500	1050	2ПФ315L	200	1500	—	2400	2000
П-11	0,13	1000	2000	2000	—	2ПН90М	0,25	1060	4000	2000	—
П-12	0,2	1000	2000	2000	—	2ПН90М	0,25	1060	4000	2000	—
П-21	0,3	1000	2000	2000	—	2ПН90L	0,34	1060	4000	2000	—
П-21	0,3	1000	—	3000	—	2ПН90L	0,34	1060	4000	2000	—
П-22	0,45	1000	2000	2000	—	2ПН100М	0,5	1000	4000	2000	—
П-22	0,45	1000	—	3000	—	2ПН100М	0,5	1000	4000	2000	—
П-31	0,7	1000	2000	2000	—	2ПН112М	0,85	1060	4000	3500	—
П-31	0,7	1000	—	3000	—	2ПН112М	0,85	1060	4000	3500	—
П-32	1	1000	2000	2000	—	2ПН112L	1,25	1060	4000	3500	—
П-32	1	1000	—	3000	—	2ПН112L	1,25	1060	4000	3500	—
П-41	1,5	1000	2000	2000	—	2ПН112L	1,25	1060	4000	3500	—
П-41	1,5	1000	—	3000	—	2ПН112L	1,25	1060	4000	3500	—
П-42	2,2	1000	2000	2000	1500	2ПН132М	2,5	1000	4000	3000	2500
П-42	2,2	1000	—	3000	—	2ПН132М	2,5	1000	4000	3000	2500
П-51	3,2	1000	2000	2000	1500	2ПН132L	3	1000	4000	4000	3750
П-51	3	1000	—	3000	—	2ПН132L	3	1000	4000	4000	3750

Продолжение табл. 10.33

Типоразмер заменяемого двигателя	Мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин, при напряжении, В			Типоразмер двигателя серии 2П	Мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин, при напряжении, В		
			110	220	440				110	220	440
П-52	4,5	1000	2000	2000	—	2ПН160М	4,5	950	4000	3000	2500
П-52	4,5	1000	—	3000	—	2ПН160М	4,5	950	4000	3000	2500
П-61	6	1000	2000	2000	1500	2ПН160Л	6,3	1000	4000	3000	2500
П-61	6	1000	—	2250	—	2ПН160Л	6,3	1000	4000	3000	2500
П-61	6	1000	—	3000	—	2ПН160Л	6,3	1000	4000	3000	2500
П-62	8	1000	2000	2000	—	2ПН180М	8	1000	3500	3000	2500
П-62	8	1000	—	2250	—	2ПН180М	8	1000	3500	3000	2500
П-71	11	1000	2000	2000	1000	2ПН180Л	10	1000	3500	3000	2500
П-72	14	1000	2000	2000	—	2ПН200Л	16	1000	—	3000	2500
П-81	19	1000	2000	2000	1000	2ПН225М	22	1000	—	2500	—
П-82	25	1000	2000	2000	1000	2ПН225Л	30	1060	—	2500	2250
П-91	32	1000	1800	2000	1350	2ПН250М	37	1060	—	2500	2500
П-92	42	1000	—	2000	1050	2ПН250Л	45	1000	—	2500	1500
П-101	55	1000	1500	1500	1000	2ПН280М	75	1000	—	2250	2400
П-102	75	1000	—	1500	1250	2ПН280М	75	1000	—	2250	2400
П-102	75	1000	—	1500	1250	2ПН280Л	90	1060	—	2000	—
П-111	100	1000	—	1500	1250	2ПН315М	110	1000	—	2250	—
П-81	32	1500	2250	2250	1500	2ПФ225М	37	1500	—	3000	2700
П-82	42	1500	—	2250	1550	2ПН225Л	45	1500	—	3000	—
П-91	55	1500	—	2250	1500	2ПФ250М	55	1500	—	2800	2800
							50	1500	—	—	1800
П-92	75	1500	—	1900	1550	2ПФ250Л	75	1500	—	2800	—
							71	1500	—	—	2800
П-101	100	1500	—	1800	1550	2ПФ280М	110	1500	—	2600	2250
П-102	125	1500	—	1800	1500	2ПФ280Л	132	1500	—	2600	1900
П-111	160	1500	—	1800	1550	2ПФ315М	160	1500	—	2400	—
								1900	—	—	2400
П-111	160	1500	—	1800	1550	2ПФ315Л	200	1500	—	2400	2000
П-112	200	1500	—	1500	1500	2ПФ315Л	200	1500	—	2400	2000
П-11	0,3	1500	3000	3000	—	2ПН90М	0,37	1500	3000	2250	—
П-12	0,45	1500	3000	3000	—	2ПН90Л	0,55	1500	4000	4300	—
П-21	0,7	1500	3000	3000	—	2ПН100М	0,75	1500	4000	4300	—
П-21	0,7	1500	—	3400	—	2ПН100М	0,75	1500	4000	4300	—
П-22	1	1500	3000	3000	—	2ПН100Л	1,1	1500	4000	4300	—
П-22	1	1500	—	3400	—	2ПН100Л	1,1	1500	4000	4300	—
П-31	1,5	1500	3000	3000	—	2ПН112М	1,5	1500	4000	4000	—
П-31	1,5	1500	—	3400	—	2ПН112М	1,5	1500	4000	4000	—
П-32	2,2	1500	3000	3000	—	2ПН112Л	2,2	1500	4000	4000	—
П-32	2,2	1500	—	3400	—	2ПН112Л	2,2	1500	4000	4000	—
П-41	3,2	1500	3000	3000	—	2ПН132М	4	1500	4000	4000	3750
П-41	3,2	1500	—	3400	—	2ПН132М	4	1500	4000	4000	3750
П-42	3,8	1500	3000	3000	—	2ПН132М	4	1500	4000	4000	3750
П-42	3,8	1500	—	3400	—	2ПН132М	4	1500	4000	4000	3750
П-51	6	1500	2250	2250	2000	2ПН132Л	5,5	1500	4000	4000	3750
П-52	8	1500	2250	2250	—	2ПН160М	7,5	1500	4000	4000	3750
П-61	11	1500	2250	2250	2000	2ПН160Л	11	1500	—	4000	3750
П-62	14	1500	2250	2250	2000	2ПН180М	15	1500	3500	4000	3500
П-71	19	1500	2000	2000	1000	2ПН180Л	18,5	1500	—	3500	3500
П-72	25	1500	2250	2250	—	2ПН200Л	30	1500	—	3500	3500
П-81	32	1500	2250	2250	1500	2ПН225М	37	1500	—	3000	1850
П-82	42	1500	—	2250	1500	2ПН250М	55	1500	—	2800	—
								1700	—	—	2800
П-91	55	1500	—	2250	1500	2ПН250М	55	1500	—	2800	—
								1700	—	—	2800
П-92	75	1500	—	1900	1550	2ПН250Л	75	1500	—	2800	—
							71	1500	—	—	2800
П-101	100	1500	—	1800	1550	2ПН280М	110	1500	—	2600	2250

Продолжение табл. 10.33

Типораз- мер заме- няемого двигателя	Мош- ность, кВт	Номи- нальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин, при напряжении, В			Типораз- мер двигателя серии 2П	Мош- ность, кВт	Номи- нальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин, при напряжении, В		
			110	220	440				110	220	440
П-102	125	1500	—	1800	1550	2ПН280L	132	1500	—	2600	1900
П-111	160	1500	—	1800	1550	2ПН315M	160	1500	—	2400	2400
П-112	200	1500	—	1500	1500	2ПН315L	200	1500	—	2400	2400
П-11	0,45	2200	3300	3300	—	2ПН90M	0,71	2360	4000	3540	—
П-12	0,7	2200	3300	3300	—	2ПН90M	0,71	2360	4000	3540	—
П-21	1	2200	3300	3300	—	2ПН90L	0,9	2000	4000	4000	—
П-22	1,5	2200	3300	3300	—	2ПН100M	1,2	2200	4000	4000	—
П-31	2,2	2200	3300	3000	—	2ПН112M	2,5	2200	4000	4000	—
П-32	3,2	2200	3000	3000	—	2ПН112L	3,4	2200	4000	4000	—
П-41	4,2	2200	3000	3000	—	2ПН132M	7	2200	4000	4000	4000
П-42	5,3	2200	3000	3000	—	2ПН132M	7	2200	4000	4000	4000
П-51	8	2200	—	2500	—	2ПН132L	8,5	2200	—	4000	4000
П-52	10,5	2200	2500	2500	—	2ПН160M	13	2120	—	4000	4000
П-61	14	2200	—	2500	—	2ПН160M	13	2120	—	4000	4000
П-62	18	2200	—	2500	—	2ПН160L	16	2360	—	4000	4000
П-71	25	2200	2500	2500	—	2ПН180M	26	2240	—	3500	3500
П-11	0,7	3000	3450	3450	—	2ПН90M	1	3000	4000	4000	—
П-12	1	3000	3450	3450	—	2ПН90M	1	3000	4000	4000	—
П-21	1,5	3000	3450	3450	—	2ПН90L	1,3	3150	4000	4000	—
П-22	2,2	3000	3000	3000	—	2ПН100L	2,2	3000	4000	4000	—
П-31	3,2	3000	3000	3000	—	2ПН112M	3,6	3000	4000	4000	—
П-32	4,5	3000	3000	3000	—	2ПН112L	5,3	3000	4000	4000	—
П-41	6,0	3000	3000	3000	—	2ПН132M	10,5	3000	4000	4000	—
П-42	7,4	3000	3000	3000	—	2ПН132M	10,5	3000	4000	4000	—
П-51	11	3000	—	3000	—	2ПН132M	10,5	3000	4000	4000	—
П-52	14	3000	—	3000	—	2ПН132L	14	3150	—	4000	4000
П-61	19	3000	—	3000	—	2ПН160M	18	3150	—	4000	4000
П-62	25	3000	—	3000	—	2ПН160L	24	3150	—	4000	4000
П-71	32	3000	—	3000	—	2ПН180M	37	3000	—	3500	3500
П-72	42	3000	—	3000	—	2ПН180L	42	3000	—	—	3500
ПР-61	3,3	750	1250	1250	1000	2ПО160L	3,2	750	3000	2500	1850
ПР-62	4,7	750	1250	1250	1000	2ПО180M	4,5	750	3000	2500	1850
ПС-51	0,18	1000	2000	2000	—	2ПБ90M	0,18	1000	4000	2000	—
ПС-51	0,25	1000	2000	2000	—	2ПБ90L	0,25	1000	4000	2000	—
ПС-52	0,37	1000	2000	2000	—	2ПБ100M	0,37	1000	4000	2000	—
ПБС-22	0,4	1000	2500	2500	—	2ПБ112M	0,45	1060	4000	3500	—
ПБС-23	0,55	1000	2500	2500	—	2ПБ112L	0,63	1060	4000	3500	—
ПБ-41	0,7	1000	1400	1400	1150	2ПБ112L	0,63	1000	4000	3500	—
ПБС-32	0,8	1000	2500	2500	—	2ПБ132M	1,6	1060	4000	3000	2500
ПБ-42	1	1000	1400	1400	1150	2ПБ132M	1,6	1060	4000	3000	2500
ПБС-33	1	1000	2500	2500	—	2ПБ132M	1,6	1060	4000	3000	2500
ПБ-51	1,2	1000	1400	1400	1150	2ПБ132M	1,6	1060	4000	3000	2500
ПБС-42	1,4	1000	2500	3000	—	2ПБ132M	1,6	1060	4000	3000	2500
ПБ-52	1,5	1000	—	1400	1150	2ПБ132M	1,6	1060	4000	3000	2500
ПБ-61	1,8	1000	1400	1400	1150	2ПБ132L	1,9	1060	4000	3000	2500
ПБС-43	1,9	1000	2500	2500	—	2ПБ132L	1,9	1060	4000	3000	2500
ПБ-62	2,2	1000	1400	1400	1150	2ПБ160M	2,5	1000	4000	3000	2500
ПБС-52	2,5	1000	—	3000	—	2ПБ160M	2,5	1000	4000	3000	2500
ПБС-53	3,3	1000	—	3000	—	2ПБ160L	3,2	1060	4000	3000	2500
ПБС-62	4,7	1000	—	3000	—	2ПБ180M	4,5	1000	3500	3000	2500
ПБС-63	5,4	1000	—	3000	—	2ПБ180M	4,5	1000	3500	3000	2500
ПР-51	2,6	1000	1600	1600	1250	2ПО132L	2,2	1000	4000	3000	2500
ПР-52	3,4	1000	1600	1600	1250	2ПО160M	3,2	1120	4000	3000	2500
ПР-61	4,3	1000	1600	1600	1250	2ПО160L	4	1000	4000	3000	2500
ПР-62	6	1000	1600	1600	1250	2ПО180L	7,5	1000	3500	3000	2500
ПС-41	0,12	1500	2000	—	—	2ПБ90M	0,28	1500	4000	3000	—
ПБ-11	0,15	1500	2000	2000	—	2ПБ90M	0,28	1500	4000	3000	—

Продолжение табл. 10.33

Типоразмер заменяемого двигателя	Мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин, при напряжении, В			Типоразмер двигателя серии 2П	Мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин, при напряжении, В		
			110	220	440				110	220	440
ПС-41	0,18	1500	3000	3000	—	2ПБ90М	0,28	1500	4000	3000	—
ПБ-12	0,23	1500	2000	2000	—	2ПБ90М	0,28	1500	4000	3000	—
ПС-41	0,18	1500	3000	3000	—	2ПБ90М	0,28	1500	4000	3000	—
ПБ-21	0,35	1500	2000	2000	—	2ПБ90Л	0,37	1500	4000	3000	—
ПС-51	0,37	1500	3000	3000	—	2ПБ90Л	0,37	1500	4000	3000	—
ПБ-22	0,50	1500	2000	2000	—	2ПБ100М	0,60	1500	4000	3000	—
ПС-52	0,55	1500	3000	3000	—	2ПБ100М	0,6	1500	4000	3000	—
ПБС-22	0,60	1500	3750	3750	—	2ПБ112М	0,75	1500	4000	4000	—
ПБ-31	0,65	1500	2000	2000	—	2ПБ112М	0,75	1500	4000	4000	—
ПБС-23	0,85	1500	3750	3750	—	2ПБ112М	0,75	1500	4000	4000	—
ПБ-32	1	1500	2000	2000	—	2ПБ112Л	1	1500	4000	4000	—
ПБС-32	1,2	1500	3750	3750	—	2ПБ112Л	1	1500	4000	4000	—
ПБ-41	1,2	1500	2000	2000	1650	2ПБ112Л	1	1500	4000	4000	—
ПБ-42	1,5	1500	2000	2000	1650	2ПБ132М	2,4	1600	4000	4000	3750
ПБС-33	1,6	1500	3750	3750	—	2ПБ132М	2,4	1600	4000	4000	3750
ПБ-51	1,9	1500	2000	2000	1650	2ПБ132М	2,4	1600	4000	4000	3750
ПБС-42	2,1	1500	3750	3750	—	2ПБ132М	2,4	1600	4000	4000	3750
ПБ-52	2,4	1500	2000	2000	1650	2ПБ132М	2,4	1600	4000	4000	3750
ПБ-61	3,2	1500	2000	2000	1650	2ПБ132Л	3,2	1600	4000	4000	3750
ПБС-43	2,8	1500	—	3750	—	2ПБ132Л	3,2	1600	4000	4000	3750
ПБС-52	4,2	1500	—	3600	—	2ПБ160М	4,2	1600	4000	4000	3750
ПБ-62	4	1500	2000	2000	1650	2ПБ160М	4,2	1500	4000	4000	3750
ПБС-53	4,8	1500	—	3600	—	2ПБ160Л	5,3	1500	—	4000	3750
ПБС-62	7,2	1500	—	3600	—	2ПБ180М	7,1	1500	3500	3500	3500
ПБС-63	7,8	1500	—	3600	—	2ПБ180Л	8,5	1600	3500	3500	3500
ПР-51	4,2	1500	2200	2200	1800	2ПО160М	6	1600	—	4000	3750
ПР-52	5,1	1500	2200	2200	1800	2ПО160М	6	1600	—	4000	3750
ПР-61	7	1500	2200	2200	1800	2ПО160Л	7,1	1500	4000	4000	3750
ПР-62	9,5	1500	2200	2200	1800	2ПО180М	10	1500	3500	3500	3500
ПС-31	0,18	2200	4000	—	—	2ПБ90М	0,4	2200	4000	4000	—
ПС-41	0,25	2200	4000	—	—	2ПБ90М	0,4	2200	4000	4000	—
ПБ-11	0,22	2200	2600	2600	—	2ПБ90М	0,4	2200	4000	4000	—
ПС-41	0,25	2200	4000	—	—	2ПБ90М	0,4	2200	4000	4000	—
ПБ-12	0,34	2200	2600	2600	—	2ПБ90М	0,4	2200	4000	4000	—
ПС-51	0,55	2200	4000	4000	—	2ПБ90М	0,40	2200	4000	4000	—
ПБ-21	0,52	2200	2600	2600	—	2ПБ90Л	0,53	2200	4000	4000	—
ПС-52	0,75	2200	4000	4000	—	2ПБ100М	0,85	2300	4000	4000	—
ПБ-22	0,72	2200	2600	2600	—	2ПБ100М	0,85	2300	4000	4000	—
ПС-53	0,9	2200	4000	4000	—	2ПБ100М	0,85	2300	4000	4000	—
ПБС-22	0,85	2200	4000	4000	—	2ПБ100М	0,85	2300	4000	4000	—
ПБ-31	0,95	2200	2600	2600	—	2ПБ112М	1,1	2200	4000	4000	—
ПБС-23	1,15	2200	4000	4000	—	2ПБ112М	1,1	2200	4000	4000	—
ПБ-32	1,45	2200	2600	2600	—	2ПБ112Л	1,5	2240	4000	4000	—
ПБС-32	1,5	2200	4000	4000	—	2ПБ112Л	1,5	2240	4000	4000	—
ПБ-41	1,7	2200	2600	2600	—	2ПБ112Л	1,5	2240	4000	4000	—
ПБС-33	2,1	2200	—	4000	—	2ПБ132М	3,7	2200	4000	4000	4000
ПБС-42	2,9	2200	4000	4000	—	2ПБ132М	3,7	2200	4000	4000	4000
ПБ-42	2,2	2200	2600	2600	—	2ПБ132М	3,7	2200	4000	4000	4000
ПБ-51	2,8	2200	2600	2600	—	2ПБ132М	3,7	2200	4000	4000	4000
ПБ-52	3,5	2200	2600	2600	—	2ПБ132М	3,7	2200	4000	4000	4000
ПБС-43	3,8	2200	—	4000	—	2ПБ132М	3,7	2200	4000	4000	4000
ПБС-52	5,5	2200	—	3600	—	2ПБ160М	6	2200	4000	4000	—
ПБС-53	6,3	2200	—	3600	—	2ПБ160Л	7,5	2240	4000	4000	—
ПБС-62	10	2200	—	3600	—	2ПБ180М	9,5	2200	3500	3500	3500
ПБС-63	11	2200	—	3600	—	2ПБ180Л	11	2200	—	3500	3500
ПР-51	5,9	2200	2900	2900	—	2ПО132Л	5,3	2200	4000	4000	4000

Продолжение табл. 10.33

Типоразмер заменяемого двигателя	Мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин, при напряжении, В			Типоразмер двигателя серии 2П	Мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Максимальная частота вращения, об/мин, при напряжении, В		
			110	220	440				110	220	440
ПР-52	7,7	2200	2900	2900	—	2П0160М	8	2240	4000	4000	4000
ПР-61	9,8	2200	2900	2900	—	2П0160Л	10	2360	—	4000	4000
ПР-62	13,5	2200	2900	2900	—	2П0180М	14	2120	—	3500	3500
ПС-31	0,25	3000	4000	—	—	2ПБ90М	0,55	3000	4000	4000	—
ПБ-11	0,33	3000	3000	3000	—	2ПБ90М	0,55	3000	4000	4000	—
ПС-41	0,37	3000	4000	—	—	2ПБ90М	0,55	3000	4000	4000	—
ПБ-12	0,52	3000	3000	3000	—	2ПБ90М	0,55	3000	4000	4000	—
ПБ-21	0,8	3000	3000	3000	—	2ПБ90Л	0,75	3000	4000	4000	—
ПБ-22	1	3000	3000	3000	—	2ПБ100М	1,2	3150	4000	4000	—
ПБС-22	1	3000	4000	4000	—	2ПБ112М	1,4	3000	4000	4000	—
ПБ-31	1,3	3000	3000	3000	—	2ПБ112М	1,4	3000	4000	4000	—
ПБС-23	1,3	3000	4000	4000	—	2ПБ112М	1,4	3000	4000	4000	—
ПБ-32	1,9	3000	3000	3000	—	2ПБ112Л	2	3000	4000	4000	—
ПБС-32	1,75	3000	—	4000	—	2ПБ112Л	2	3000	4000	4000	—
ПБ-41	2,3	3000	3000	3000	—	2ПБ132М	4,5	3150	4000	4000	4000
ПБС-33	2,35	3000	—	4000	—	2ПБ132М	4,5	3150	4000	4000	4000
ПБ-42	3	3000	3000	3000	—	2ПБ132М	4,5	3150	4000	4000	4000
ПБС-42	3,4	3000	—	4000	—	2ПБ132М	4,5	3150	4000	4000	4000
ПБС-43	4,3	3000	—	4000	—	2ПБ132М	4,5	3150	4000	4000	4000
ПБС-52	6,5	3000	—	3600	—	2ПБ160М	7,1	3000	4000	4000	—
ПБС-53	8	3000	—	3600	—	2ПБ160Л	8,1	3000	—	4000	4000
ПБС-62	11,3	3000	—	3600	—	2ПБ180М	12	3000	—	3500	3500
ПР-51	7,3	3000	3000	3000	—	2П0160М	9,5	3000	4000	4000	4000
ПР-52	9,5	3000	—	3000	—	2П0160М	9,5	3000	4000	4000	4000
ПР-61	12	3000	—	3000	—	2П0160Л	12	3000	—	4000	4000

Таблица 10.34. Рекомендации по замене генераторов серии П генераторами серии 2П

Типоразмер заменяемого генератора	Мощность, кВт	Напряжение, В	Номинальная частота вращения, об/мин	Типоразмер генератора серии 2П	Мощность, кВт	Напряжение, В	Номинальная частота вращения, об/мин
П-51	2,7	115	970	2ПН160М	3	115	1000
П-51	2,6	230	970	2ПН160М	3	230	1000
П-52	3,1	115	970	2ПН160М	3	115	1000
П-52	3,1	230	970	2ПН160М	3	230	1000
П-61	4,5	115	970	2ПН180М	5,5	115	1000
П-61	4,9	230	970	2ПН180М	5,5	230	1000
П-62	5,1	115	970	2ПН180М	5,5	115	1000
П-62	5,1	230	970	2ПН180М	5,5	230	1000
П-81	19	115	970	2ПН225М	18,5	115	1000
П-81	19	230	970	2ПН225М	18,5	230	1000
П-82	25	115	970	2ПН225Л	25	230	1000
П-82	25	230	970	2ПН225Л	25	230	1000
П-92	42	230	970	2ПН250Л	37	230	1000
П-102	70	115	970	2ПН315М	90	115	1000
П-111	90	115	970	2ПН315М	90	115	1000
П-21	0,37	115	1450	2ПН100М	0,37	115	1500
П-21	0,37	230	1450	2ПН100М	0,37	230	1500
П-22	0,6	115	1450	2ПН100Л	0,55	115	1500
П-22	0,6	230	1450	2ПН100Л	0,55	230	1500
П-31	1	150	1450	2ПН112Л	1,1	115	1500
П-31	1	230	1450	2ПН112Л	1,1	230	1500
П-31	0,8	110/160	1450	2ПН112Л	1,1	110/160	1500
П-31	0,8	220/320	1450	2ПН112Л	1,1	220/320	1500
П-32	1,5	115	1450	2ПН132М	2,2	115	1500
П-32	1,5	230	1450	2ПН132М	2,2	230	1500

Продолжение табл. 10.34

Типоразмер заменимо- го генера- тора	Мощность, кВт	Напряже- ние, В	Номиналь- ная частота вращения, об/мин	Типоразмер генератора серии 2П	Мощность, кВт	Напряже- ние, В	Номиналь- ная частота вращения, об/мин
П-32	1,3	220/320	1450	2ПН132М	1,5	220/320	1500
П-41	2,7	115	1450	2ПН132Л	3	115	1500
П-41	2,7	230	1450	2ПН132Л	3	230	1500
П-41	2,1	110/160	1450	2ПН132Л	3	110/160	1500
П-41	2,1	220/320	1450	2ПН132Л	3	220/320	1500
П-42	3,2	115	1450	2ПН132Л	3	115	1500
П-42	3,2	230	1450	2ПН132Л	3	230	1500
П-42	2,9	110/160	1450	2ПН132Л	3	110/160	1500
П-42	2,9	220/320	1450	2ПН132Л	3	220/320	1500
П-51	5	115	1450	2ПН160М	5,5	115	1500
П-51	5	230	1450	2ПН160М	5,5	230	1500
П-51	4,6	460	1450	2ПН160М	5,5	460	1500
П-51	4,2	110/160	1450	2ПН160М	5,5	110/160	1500
П-51	4,2	220/320	1450	2ПН160М	5,5	220/320	1500
П-52	6,5	115	1450	2ПН160Л	7,5	115	1500
П-52	6,5	230	1450	2ПН160Л	7,5	230	1500
П-52	5,5	460	1450	2ПН160М	5,5	460	1500
П-52	6	110/160	1450	2ПН160Л	7,5	110/160	1500
П-52	6	220/320	1450	2ПН160Л	7,5	220/320	1500
П-61	9	115	1450	2ПН180М	11	115	1500
П-61	9	230	1450	2ПН180М	11	230	1500
П-61	9	460	1450	2ПН180М	11	460	1500
П-61	7,2	110/160	1450	2ПН180М	11	110/160	1500
П-61	7,2	230/320	1450	2ПН180М	11	230/320	1500
П-62	11,5	115	1450	2ПН180М	11	115	1500
П-62	11,5	230	1450	2ПН180М	11	230	1500
П-62	11,5	460	1450	2ПН180М	11	460	1500
П-62	9,2	110/160	1550	2ПН180М	11	110/160	1500
П-62	9,2	220/320	1450	2ПН180М	11	230/320	1500
П-81	27	115	1450	2ПН225М	30	115	1500
П-81	27	230	1450	2ПН225М	30	230	1500
П-81	27	460	1450	2ПН225М	30	460	1500
П-82	35	115	1450	2ПН250М	45	115	1500
П-82	35	230	1450	2ПН225Л	37	230	1500
П-82	35	460	1450	2ПН225Л	37	460	1500
П-91	50	115	1450	2ПН250М	45	115	1500
П-91	50	230	1450	2ПН250М	55	230	1500
П-91	50	460	1450	2ПН250М	55	460	1500
П-92	70	230	1450	2ПН250Л	71	230	1500
П-92	65	460	1450	2ПН280М	90	460	1500
П-101	85	115	1450	2ПН315М	90	115	1500
П-101	90	230	1450	2ПН280М	90	230	1500
П-101	90	460	1450	2ПН280М	90	460	1500
П-102	110	460	1450	2ПН280Л	110	460	1500
П-111	145	460	1450	2ПН315М	160	460	1500
П-112	190	230	1450	2ПН315Л	180	230	1500
П-112	170	460	1450	2ПН315М	160	460	1500
П-21	1,25	115	2850	2ПН100М	1,25	115	3000
П-21	1,25	230	2850	2ПН100М	1,25	230	3000
П-21	1,1	110/160	2850	2ПН100М	1,1	110/160	3000
П-21	1,1	220/320	2850	2ПН100М	1,1	220/320	3000
П-22	1,6	115	2850	2ПН100Л	1,8	115	3000
П-22	1,6	230	2850	2ПН100Л	1,8	230	3000
П-22	1,5	110/160	2850	2ПН100Л	1,6	110/160	3000
П-22	1,5	220/320	2850	2ПН100Л	1,6	220/320	3000
П-31	2,6	115	2850	2ПН112М	2,8	115	3000
П-31	2,6	230	2850	2ПН112М	2,8	230	3000
П-31	2,3	110/160	2850	2ПН112М	2,5	110/160	3000
П-31	2,3	220/320	2850	2ПН112М	2,5	220/320	3000

Продолжение табл. 10.34

Типоразмер заменяемо- го генера- тора	Мощность, кВт	Напряже- ние, В	Номиналь- ная частота вращения, об/мин	Типоразмер генератора серии 2П	Мощность, кВт	Напряже- ние, В	Номиналь- ная частота вращения, об/мин
П-32	3,8	115	2850	2ПН112L	4	115	3000
П-32	3,8	230	2850	2ПН112L	4	230	3000
П-32	3	110/160	2850	2ПН112L	3,75	110/160	3000
П-32	3	220/320	2850	2ПН112L	3,75	220/320	3000
П-41	6,2	115	2850	2ПН132M	6	115	3000
П-41	6,2	230	2850	2ПН132M	6	230	3000
П-41	4,8	110/160	2850	2ПН132M	5,5	110/160	3000
П-41	4,8	220/320	2850	2ПН132M	5,5	220/320	3000
П-42	7,2	115	2850	2ПН132L	8,5	115	3000
П-42	7,2	230	2850	2ПН132L	8,5	230	3000
П-42	5,8	110/160	2850	2ПН132L	7,5	110/160	3000
П-42	5,8	220/320	2850	2ПН132L	7,5	220/320	3000
П-51	11	115	2850	2ПН160M	16	115	3000
П-51	11	230	2850	2ПН160M	16	230	3000
П-51	8,5	110/160	2850	2ПН160M	15	110/160	3000
П-51	8,5	220/320	2850	2ПН160M	15	220/320	3000
П-52	14	115	2850	2ПН160M	16	115	3000
П-52	14	230	2850	2ПН160M	16	230	3000
П-52	11	110/160	2850	2ПН160M	15	110/160	3000
П-52	11	220/320	2850	2ПН160M	15	220/320	3000
П-61	18	230	2850	2ПН160L	22	230	3000
П-61	14,5	110/160	2850	2ПН160M	15	110/160	3000
П-61	14,5	220/320	2850	2ПН160M	15	220/320	3000
П-62	25	230	2850	2ПН180M	30	230	3000
П-62	22	220/320	2850	2ПН180M	22	220/320	3000

10.8. Двигатели постоянного тока серии ПГ (ПГТ)

Двигатели серии ПГ (ПГТ) выполняют-ся с гладким якорем. Они предназначены для работы в быстродействующих следящих и широкорегулируемых электроприводах металлорежущих станков и других рабочих машин при питании от источников постоянного тока, а также от тиристорных преобразователей.

Двигатели изготавливаются с тахогенератором типа ТС-1М (серия ПГТ) и без тахогенератора (серия ПГ). Они соответствуют требованиям ТУ 16-514.097-77.

Двигатели предназначены для эксплуатации при температуре окружающего воздуха до 35 °С (исполнение УХЛ4) и до 45 °С (тропический климат, исполнение О4) на высоте над уровнем моря не более 1000 м.

Режим работы двигателей ДПТ серий ПГ (ПГТ) — продолжительный S1.

При питании от тиристорных преобразователей мощность ДПТ корректируется разработчиком привода в зависимости от формы тока. При этом пульсация напряжения возбуждения не должна превышать 5% номинального напряжения возбуждения.

Окружающая среда — невзрывоопасная, не содержащая агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию и снижающих параметры ДПТ в недопустимых пределах.

Срок гарантии — 2 года с момента начала эксплуатации ДПТ, но не более 2,5 года со дня получения ДПТ потребителем.

Структура условного обозначения ДПТ серии ПГ:

$$\frac{\text{ПГ}}{1} \frac{\text{Х} - \text{Х}}{2} \frac{\text{Х} - \text{Х}}{3} \frac{\text{Х} - \text{Х}}{4} \frac{\text{Х}}{5}$$

где 1 — название серии ПГ — двигатели постоянного тока с гладким якорем;

2 — буква Т — наличие встроенного тахогенератора (в обозначении ДПТ без тахогенератора буква отсутствует);

3 — мощность, кВт;

4 — буква М — модернизированный двигатель;

5 — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

Двигатели изготавливаются с независимым возбуждением 110 В; по требованию заказчика могут быть изготовлены с напря-

жением возбуждения, равным напряжению на якоре.

Эффективные значения вибрационной скорости должны соответствовать по ГОСТ 16921-71: классу 1,1 для ДПТ 1, 2, 4-го габаритов, классу 1,8 для ДПТ 6, 9-го габаритов.

Средний уровень звука ДПТ с встроенным тахогенератором и вентилятором не должен превышать 77 дБ, средний уровень звука без вентилятора — 67 дБ (по шкале А).

Двигатели выполняются без устройств для подавления помех радиоприему.

Двигатели — реверсивные.

Двигатели допускают длительную работу при малых частотах вращения (до 1 об/мин) при номинальном возбуждении и моменте, равном номинальному. Они также допускают путем изменения тока возбуждения регулирование частоты вращения вверх от номинальной до частоты вращения 5000 об/мин при мощности на валу не выше номинальной. Длительность работы ДПТ при наибольшей частоте вращения и ослабленном электромагнитном поле не должна превышать 3 мин с общей продолжительностью не более 30 мин в течение 8 ч.

Степень искрения ДПТ и тахогенераторов при номинальной нагрузке, номинальных напряжениях на якоре и обмотке возбуждения не должна превышать 1₂, а ДПТ при наибольшей частоте вращения при ослабленном магнитном поле — 2.

Отклонение фактических частот вращения ДПТ при номинальной нагрузке, номинальных напряжениях на якоре и обмотке возбуждения при установившейся температуре не должно превышать +15% и -5% номинального значения. Разность частот вращения при изменении направления вращения при номинальной нагрузке, номинальных напряжениях на якоре и обмотке возбуждения не должна превышать 2%.

Двигатели изготавливаются с изоляцией класса В.

Предельно допустимые превышения температуры: 80°C для обмоток ДПТ, тахогенератора и коллектора; 60°C для подшипников; 40°C для корпуса.

Двигатели должны без повреждений и остаточных деформаций выдерживать в течение 2 мин повышение частоты вращения до 6000 об/мин.

Двигатели допускают перегрузку по току до $8I_{ном}$ в течение 0,1 с при полном

магнитном потоке и напряжении на якоре не выше номинального. Момент вращения при этом должен быть равен $(6,5 - 7)M_{ном}$.

Степень искрения при перегрузках, пере-напряжениях и в переходных режимах не оговаривается. Коллектор и щетки при этом должны быть в состоянии, пригодном для дальнейшей работы без предварительной чистки коллектора, допускаются следы подгара на кромках коллекторных пластин и щегок.

Двигатели должны допускать работу в режиме S7 с током при переходных процессах, равным $8I_{ном}$, в течение времени не более 0,1 с. За время цикла, принятого равным 1 мин, эквивалентный ток не должен превышать $I_{ном}$. Количество переходных процессов не оговаривается.

Тахогенератор имеет закрытое встроенное исполнение. Якорь тахогенератора жестко крепится на валу ДПТ.

Двигатели изготавливаются в защищенном исполнении с продувом воздуха посредством пристроенного вентилятора-наездника с приводным трехфазным асинхронным двигателем. Двигатели поставляются комплектно с вентилятором. По требованию заказчика вентилятор-наездник изготавливается со встроенным фильтром.

Для ДПТ устанавливаются следующие показатели надежности:

Срок службы, ч	15000
Вероятность безотказной работы за период 2000 ч при доверительной вероятности 0,8	0,95

Двигатели имеют исполнение по степени защиты IP21, а при наличии фильтра на вентиляторе-наезднике — IP51.

Конструктивные исполнения — IM2101 и IM2103.

Двигатели допускают сочленение вала с валом рабочего механизма с помощью эластичной муфты или зубчатой передачи.

Коробка выводов расположена на станине слева, если смотреть со стороны привода. По особому заказу ДПТ могут изготавливаться с коробкой выводов, расположенной на станине справа.

Технические данные ДПТ серий ПГ и ПГТ приведены в табл. 10.35 и 10.36, габаритные и установочные размеры даны в табл. 10.37 (рис. 10.11).

Таблица 10.35. Технические данные двигателей серий ПГ и ПГТ, исполнение УХЛ4, частота вращения 3000 об/мин

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Ток якоря, А	Момент, Н·м		КПД, %
				номинальный	при 1500 об/мин	
ПГ-1МУХЛ4 ПГТ-1МУХЛ4	1	60	20,4	3,25	3,7	65
ПГ-2МУХЛ4 ПГТ-2МУХЛ4	2	110	21,2	6,5	7,5	76
ПГ-4МУХЛ4 ПГТ-4МУХЛ4	4	220	21	13	15	79
ПГ-6МУХЛ4 ПГТ-6МУХЛ4	6	220	30,7	19,4	22	82
ПГ-9МУХЛ4 ПГТ-9МУХЛ4	9	220 440	46,3 23,2	29	33	82

Таблица 10.36. Технические данные двигателей серий ПГ и ПГТ, тропическое исполнение, частота вращения 3000 об/мин

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Ток якоря, А	КПД, %
ПГТ-1МО4 ПГ-1МО4	0,9	60	18,5	65
ПГТ-2МО4 ПГ-2МО4	1,8	110	19,2	76
ПГТ-4МО4 ПГ-4МО4	3,6	220	19	79
ПГТ-6МО4 ПГ-6МО4	5,4	220	28	82
ПГТ-9МО4 ПГ-9МО4	8	220	40,5	82

Таблица 10.37. Габаритные, установочные, присоединительные размеры и момент инерции двигателей серий ПГ и ПГТ (рис. 10.11)

Типоразмер машины	Размеры, мм						Масса, кг	Момент инерции, 10^{-2} кг·м ²
	b_{10}	d_1	d_{20}	l_{10}	l_{30}	h		
ПГ-1М	142	14	130	238	425	100	54	5,75
ПГ-2М	130	18	185	266	476	112	69	18,7
ПГ-4М	150	25	185	320	567	125	99	69,5
ПГ-6М	160	30	215	361	649	132	138	115
ПГ-9М	170	32	215	396	680	160	170	225
ПГТ-1М	142	14	130	238	556	100	60	7,5
ПГТ-2М	130	18	185	266	596	112	75	20,5
ПГТ-4М	150	25	185	320	695	125	105	71,2
ПГТ-6М	160	30	215	361	766	132	144	135
ПГТ-9М	170	32	215	396	800	160	176	245

10.9. Двигатели постоянного тока серии ЭП

Электродвигатели серии ЭП (табл. 10.38) предназначены для работы в широкорегулируемых электроприводах металлорежущих станков высокой точности и специальных установок.

В основном обозначении ДПТ серии ЭП после букв ЭП (название серии) указывается в числителе — номинальное напряжение, В, в знаменателе — мощность (условно), Вт.

Двигатели должны соответствовать ТУ 16-515.090-72.

Двигатели предназначены для эксплуатации в условиях, нормированных для исполнения У, категории 3 по ГОСТ 15150-69. По способу возбуждения ДПТ изготавливаются параллельного и независимого возбуждения. Номинальный режим работы S1.

Двигатели допускают регулирование частоты вращения от номинальной вниз при изменении напряжения на якоре. При этом предельные превышения температур отдельных частей ДПТ не должны превышать допустимых при номинальной нагрузке для обмотки якоря; для обмотки возбуждения и для коллектора — 60°C, для подшипников — 40°C.

Перепад частоты вращения от холостого хода до номинальной нагрузки на естественной механической характеристике не должен превышать 7%. Двигатели допускают 50%-ную перегрузку по току в течение 1 мин

и выдерживают повышенную на 20% частоту вращения в течение 2 мин.

Коммутация ДПТ при номинальной нагрузке не должна быть хуже $1\frac{1}{2}$.

Вероятность безотказной работы на период наработки 10 000 ч должна быть не менее 0,94 при доверительной вероятности 0,8. Ресурс — 25 000 ч.

Способ охлаждения ДПТ серии ЭП — ИСА00 по ГОСТ 20459-75.

Начальный пусковой момент должен быть не менее 11,7 Н·м для ДПТ типа ЭП-110/125 и 9,2 Н·м для ДПТ типа ЭП-110/245.

Ток холостого хода не должен превышать 0,4 А для двигателей типа ЭП-110/125 и 0,75 А для двигателей типа ЭП-110/245.

Основные габаритные и установочные размеры ДПТ серии ЭП даны в табл. 10.39 (рис. 10.10 и 10.12).

10.10. Двигатели постоянного тока типа ДВ75

Двигатели типа ДВ75 предназначены для привода вентилятора электрокалориферов и антиобледенителей, устанавливаемых в кабине тепловозов и электровозов. Климатическое исполнение — УХЛ и Т, категория размещения — 3 по ГОСТ 15150-69.

Двигатели должны соответствовать ТУ 16-515.132-73.

Таблица 10.38. Технические данные двигателей серии ЭП

Типоразмер электро- двигателя	Мощность, кВт	Напря- жение, В	Ток, А	Частота вращения, об/мин	Сопротивление, Ом		КПД, %
					якоря	возбуж- дения	
ЭП-110/125	0,12	110	1,8	1500	6	680	68
ЭП-110/245	0,25	110	3,3	4000	1,09	680	68

Таблица 10.39. Габаритные и установочные размеры двигателей серии ЭП (рис. 10.10, 10.12)

Типоразмер двигателя	Размеры, мм						Масса, кг	Испол- нение
	b_{10}	d_1	d_{20}	l_{10}	l_{30}	h		
ЭП-110/125	134	13	—	98	247	82	9,0	IM1001
ЭП-110/245	134	13	—	89	247	76	9,2	IM1001
	134	12	—	89	242	76	9,2	IM1002
	—	12	170	—	242	—	9,0	IM3002

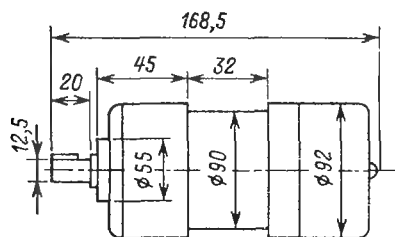


Рис. 10.13. Габаритные и установочные размеры двигателя типа ДВ75

Технические данные двигателей ДПТ типа ДВ75

Напряжение питания, В	75
Ток, А, не более	1,25
Номинальная мощность, Вт	40
Частота вращения, об/мин	3000
КПД, %	50
Номинальный вращающий момент, Н·м	0,128

Исполнение ДПТ — закрытое, с обдувом от вентилятора, устанавливаемого потребителем. Направление вращения — правое со стороны выходного конца вала. Режим работы S1. Степень защиты двигателя — IP20 по ГОСТ 17494-72. Степень искрения под щетками при номинальной нагрузке и номинальной частоте вращения — не выше $1\frac{1}{2}$. Уровень звука, создаваемого ДПТ, должен соответствовать классу 2 и не должен превышать 65 дБ. Предельно допустимые температуры обмоток и коллектора не должны

превышать 115°C для принятого класса изоляции Е.

Гарантийная наработка — 1500 ч. Вероятность безотказной работы на период гарантийной наработки должна быть не менее 0,96 при доверительной вероятности 0,8.

Основные габаритные и установочные размеры ДПТ типа ДВ75 даны на рис. 10.13. Масса двигателя 3,5 кг.

10.11. Возбудители постоянного тока типа В18

Возбудители предназначены для питания обмоток возбуждения генераторов и двигателей в условиях умеренного или тропического климата.

Возбудители выполнены на подшипниках качения. Выступающий конец вала — со стороны коллектора. Форма исполнения — IM1001. Коробка выводов по требованию заказчика может располагаться на станине справа или слева.

Возбудители рассчитаны на соединение с валом синхронной машины посредством клиноременной передачи. В возбудительных агрегатах возбудители соединяются с асинхронным двигателем при помощи эластичной муфты. Режим работы возбудителей S1. Возбудители изготавливаются с изоляцией класса В.

Степень искрения возбудителя при любых неустановившихся нагрузках в пределах от холостого хода до номинальной не должна превышать $1\frac{1}{4}$. Возбудители выпол-

Таблица 10.40. Технические данные возбудителей типа В18

Тип возбудителя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Ток, А	Частота вращения, об/мин	КПД, %
В18-2У3 В18-2Т3	4,5	30	150	1500	75
В18-1У3 В18-1Т3	5,5	36	133	3000	75

Таблица 10.41. Габаритные и установочные размеры возбудителей типа В18 (рис. 10.10, а)

Тип возбудителя	Размеры, мм						Масса, кг	Момент инерции, кг·м ²
	b_{10}	d_1	d_{30}	l_{10}	l_{30}	h		
В18-1У3 В18-1Т3	240	30	320	195	546	160	78	0,04
В18-2У3 В18-2Т3	390	35	400	220	602	200	160	—

няются с мостиком насыщения в главных полюсах и имеют потолок напряжения при форсировке не менее 1,4, но не более 1,8 номинального. Скорость нарастания напряжения возбудителей в долях номинального напряжения возбуждения в 1 с должна быть не менее 0,8.

Вероятность безотказной работы возбудителя в течение двух лет — не менее 0,9. Срок службы — 10 лет. Ресурс — 10 000 — 12 000 ч.

Технические данные возбудителей приведены в табл. 10.40.

Структура условного обозначения типа возбудителя:

В	18	Х	Х
Т	Т	—	Т
1	2	3	4

- где 1 — возбудитель;
 2 — внешний диаметр якоря, см;
 3 — условная длина сердечника;
 4 — климатическое исполнение и категория размещения.

Основные габаритные и установочные размеры и масса возбудителей указаны в табл. 10.41 и на рис. 10.10, а.

10.12. Тахогенераторы постоянного тока серии ПТ

Тахогенераторы серии ПТ предназначены для работы в качестве датчиков в системах автоматического регулирования частоты вращения электродвигателей прокатных станов.

Климатическое исполнение — УХЛ и Т, категория — 4 по ГОСТ 15150-69.

Исполнение тахогенераторов фланцевое, закрытое. Тахогенераторы предназначены для работы в горизонтальном положении, но могут быть использованы для работы и в вертикальном положении. Тахогенераторы типа ПТ32/1В предназначены для работы только в вертикальном положении.

Условия работы для климатического исполнения УХЛ

Высота над уровнем моря, м, не более	1000
Температура окружающего воздуха, °С	5—40
Относительная влажность окружающего воздуха при температуре 20 ± 5°С, %, не более	65 ± 15

Условия работы для климатического исполнения Т

Температура окружающего воздуха, °С	5—40
---	------

Относительная влажность воздуха при температуре 35°С, %	95 ± 3
Предельная минимальная влажность воздуха при температуре 40°С, %	30

Окружающая среда — невзрывоопасная, не содержащая значительного количества токопроводящей пыли, агрессивных и водяных паров в концентрациях, снижающих параметры изделий в недопустимых пределах.

Номинальный режим работы тахогенераторов S1.

Допускается отклонение напряжения от 230 В при номинальном токе возбуждения и номинальной частоте вращения до + 20%.

Искрение щеток при номинальном режиме не должно быть более 1 $\frac{1}{4}$.

Тахогенераторы допускают пристройку центробежных выключателей типа РИС, за исключением тахогенераторов типа ПТ-22/1 с частотой вращения 2400 об/мин, ПТ-32/1 с частотой вращения 200 об/мин и ПТ-42 с частотой вращения 400—200—100 об/мин.

Тахогенераторы не снабжаются устройствами для подавления помех радиоприему.

Основное направление вращения тахогенераторов принято против часовой стрелки, если смотреть со стороны коллектора. Другое направление вращения оговаривается заказчиком.

Возбуждение тахогенераторов независимое, номинальное напряжение 55 В. Обмотка возбуждения должна допускать длительное протекание номинального тока возбуждения при неподвижном якоре. Напряжение тахогенератора может устанавливаться в требуемых пределах путем введения дополнительного резистора в цепь обмотки возбуждения. Технические данные тахогенераторов приведены в табл. 10.42.

Тахогенераторы при холостом ходе выдерживают без деформаций и повреждений частоту вращения на 20% выше номинальной, указанной в табл. 10.42, в течение 2 мин.

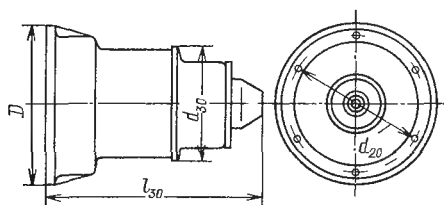
Тахогенераторы при номинальных данных и при изменении частоты вращения вниз от номинальной в диапазоне 1:4, но не ниже 50 об/мин, должны иметь следующие уровни пульсаций напряжения:

Оборотные пульсации, %, не более	0,25
Полусные пульсации, %, не более	0,50
Зубцовые пульсации, %, не более	1,40
Коллекторные пульсации, %, не более	0,60

Таблица 10.42. Технические данные тахогенераторов серии ПТ

Тип тахогенератора	Частота вращения, об/мин	Напряжение, В	Ток, А		Сопротивление, Ом	
			якоря	возбуждения	якорной цепи	обмотки возбуждения
ПТ-22/1	2400	230	0,5	0,35	7,19	127
ПТ-22	1000	230	0,2	0,35	42,3	127
	800	230	0,2	0,35	70,7	127
ПТ-31/1	1200	230	0,5	0,52	7	94
	1000	230	0,5	0,52	11,59	94
	600	230	0,5	0,52	31,1	94
	200	230	0,1	0,52	330	94
ПТ-32/1В	1000	230	0,5	0,52	11,59	94
	600	230	0,5	0,52	31,1	94
ПТ-32	600	230	0,5	0,52	31,1	94
ПТ-42	400	230	0,5	1,1	17,7	41,6
	200	230	0,25	1,1	78,7	41,6
	100	230	0,1	1,1	380	41,6

Таблица 10.43. Габаритные и установочные размеры тахогенераторов серии ПТ



Тип тахогенератора	Размеры, мм				Масса, кг
	d_{20}	d_{30}	l_{30}	D	
ПТ-22/1	240	245	457	300	70
	305		457	338	70
	370		480	420	75
ПТ-32/1	270	275	524	300	100
	305		524	338	100
	370		528	420	100
	460		532	520	100
	435		532	480	110
ПТ-22	297	245	520	320	90
ПТ-32		275	550		110
ПТ-42		295	550		120
ПТ-32/1В	365	400	566	400	100

Нелинейность выходной характеристики напряжения тахогенератора не должна быть более $\pm 1\%$ в диапазоне изменения частоты вращения 1:4 вниз от номинальной, но не ниже 50 об/мин.

Тахогенераторы допускают реверсивную работу, при этом уровни пульсаций напря-

жения и нелинейность выходной характеристики гарантируются только для основного направления вращения.

Тахогенераторы выпускаются в соответствии с ТУ 16-512.421-77.

Расшифровка условного обозначения тахогенератора:

ПТ — тахогенератор постоянного тока; первая цифра — габарит машины; вторая цифра — активная длина якоря; цифра 1 после дроби — сочленение тахогенератора с приводным двигателем на подшипниках качения (без дроби — сочленение тахогенератора с двигателем на подшипниках скольжения);

буква В — установка тахогенератора в вертикальном положении;

УХЛ или Т — климатическое исполнение;

4 — категория размещения.

Основные габаритные и установочные размеры даны в табл. 10.43.

10.13. Машины постоянного тока большой мощности

10.13.1. Области применения и особенности эксплуатации

Основными установками, использующими крупные машины постоянного тока, являются прокатные станы, крупные шагающие экскаваторы, шахтные подъемники, гребные установки и различные испытательные стенды, в которых применяется мощный электропривод с регулируемой частотой вращения.

Применение в этих приводах ДПТ обеспечивает большую производительность труда, что экономически оправдывает дополнительные затраты, связанные с использованием электрооборудования на постоянном токе. Развитие отраслей промышленности, в которых находят применение мощные ДПТ, приводит к необходимости непрерывного повышения их мощности и вращающего момента, улучшению динамических показателей. В настоящее время питание крупных ДПТ осуществляется от тиристорных преобразователей. Однако существует и потребность в мощных, свыше 5000 кВт, генераторах постоянного тока.

Для питания мощных прокатных ДПТ применяют тиристорные преобразователи. Тиристорное питание из-за пульсации напряжения и тока якоря ухудшает коммутацию ДПТ, вызывает появление добавочных потерь от переменных составляющих тока и потока и дополнительную вибрацию. Применение тиристорных преобразователей обеспечивает возможность использования быстродействующих систем регулирования для форсировки напряжения якоря. В связи с этим к изоляции обмоток якорной цепи и коллектора ДПТ, питаемых от тиристорных преобразователей, предъявляются дополнительные требования: она должна допускать нормальную эксплуатацию с амплитудным значением напряжения вентильной обмотки трансформатора преобразователя. Для ДПТ с номинальным напряжением 930 В это напряжение составляет 1500 В. Такое напряжение оказывает неблагоприятное влияние на потенциальные условия на коллекторе.

Для ограничения вредного воздействия тиристорного преобразователя ДПТ выполняют с шихтованным магнитопроводом и применяют 12-фазные схемы выпрямления (реже 6-фазные полностью управляемые). Для станов горячей прокатки реверсирование ДПТ осуществляется путем изменения знака напряжения на якоре. Из числа возможных схем реверсирования применяют встречно-параллельную и перекрестную схемы без уравнительных реакторов.

При проектировании ДПТ задаются допустимыми пульсациями тока якоря, как правило, в пределах от 2 до 7%. В большинстве случаев индуктивность якорной цепи оказывается достаточной для ограничения заданного значения пульсации. В противном случае применяют дополнительные сглаживающие реакторы.

Крупные ДПТ работают в системе автоматизированного привода, и основное требо-

вание, предъявляемое к ним со стороны эксплуатации, — надежность работы. Поэтому ДПТ комплектуются вспомогательными устройствами, обеспечивающими, с одной стороны, работу в автоматизированном приводе, с другой — контроль за параметрами ДПТ во время эксплуатации.

Комплектно с ДПТ поставляются тахогенератор типа ПТ-32 или ПТ-42, реле скорости типа РМН7011, воздухоохладители типа ВО-100-2 или ВО-150А, ящик резисторов.

Для контроля температуры входящего и выходящего из ДПТ воздуха поставляются два термометра сопротивления, для контроля работы подшипников — термометр манометрический сигнализирующий и указатель уровня масла. Обмотки возбуждения и компенсационная снабжены термоэлектрическими преобразователями, которые позволяют производить контроль температур этих обмоток. Термометры сопротивления, заложенные в обмотку якоря, выводятся на контактные кольца и траверсу, что позволяет следить за температурой обмотки якоря при работе. К каждому крупному ДПТ постоянного тока завод-изготовитель предоставляет запасные части (комплекты катушек главных и дополнительных полюсов, секции обмотки якоря, щетки, шеткодержатели, вкладыш подшипника и др.), а также наборы специальных приспособлений, устройств и инструмента, необходимых для монтажа, эксплуатации и ремонта.

10.13.2. Двигатели для прокатных станов

Реверсивные и нереверсивные ДПТ, предназначенные для главных электроприводов прокатных станов, выпускаются ЛПЭО «Электросила» им. С. М. Кирова, заводом «Электротехмаш» (г. Харьков) и ПО ХЭМЗ.

Условия эксплуатации двигателей:

Высота над уровнем моря, м, не более	1000
Температура охлаждающего воздуха, °С:	
исполнение УХЛ4	1—40
исполнение О4	1—45
Температура охлаждающего воздуха, °С	5—40
Относительная влажность воздуха при 25°С (исполнение УХЛ4), %, не более	80
То же при 35°С (исполнение О4), %, не более	98
Запыленность охлаждающего воздуха, мг/м ³ , не более	0,2

Количество охлаждающего воздуха на 1 кВт фактических потерь, $\text{м}^3/\text{мин}$, не более 3,5—4,0

Охлаждающий воздух не содержит химически агрессивных и токопроводящих примесей. Окружающая среда — невзрывоопасная, не содержащая агрессивных примесей и токопроводящей пыли в концентрациях, снижающих параметры двигателей ДПТ. Степень защиты ДПТ горизонтальных: IP20 — выше перекрытия фундаментной плиты, IPOX — ниже перекрытия фундаментной плиты по ГОСТ 14254-80.

Основные технические данные ДПТ и их габаритные, установочные и присоединительные размеры приведены в табл. 10.44—10.51 и на рис. 10.14.

Привод механизмов прокатных станов требует регулирования частоты вращения в широких пределах, частых реверсов и сопровождается большими кратковременными перегрузками по току при условии, что среднеквадратичный (за время технологического цикла) ток не превышает номинального. Допустимая рабочая перегрузка, как правило, 1,8—2,25 $I_{\text{ном}}$ (не более 15 с) в зависимости от частоты вращения и назначения ДПТ. От

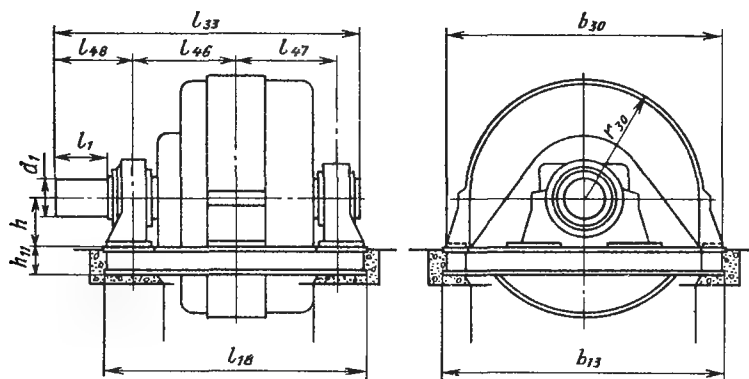


Рис. 10.14. Обозначения габаритных и установочных размеров двигателей постоянного тока большой мощности

Таблица 10.44. Технические данные реверсивных двигателей постоянного тока серии П2 21—25-го габаритов производства ПО ХЭМЗ ($U_{\text{ном}} = 930 \text{ В}$)

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Ток, А	Частота вращения, об/мин	Момент, кН·м	Динамический момент инерции, $10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	Масса, 10^3 кг	КПД, %
П2-630-215-86	3150	3650	90/150	334,25	13,63	69,4	92,5
П2-630-216-8С	3150	3680	71/125	423,7	16,68	65,4	91,7
ПВ2-630-217-8К	3150	3730	56/100	537,2	19,5	148	91,1
ПВ2-630-217-14К	7100	8075	125/150	542,4	20,05	150	94,3
П2-800-217-8С	3150	3710	56/100	537,2	19,6	107,35	91,1
П2-800-217-14С	7100	8075	125/150	542,4	20,05	108,15	94,3
П2-800-218-8С	3150	3750	45/80	668,5	22,4	125,5	90,1
П2-800-218-14С	7100	8130	90/125	753,4	22,85	127	93,7
П2-800-227-8С	4000	4710	50/100	764	29,8	121	90,9
П2-800-227-14С	8000	9080	100/125	764	30,25	123	94,4
П2-800-228-8С	4000	4830	40/80	955	38,5	146	89,3
П2-800-228-14С	8000	9130	80/125	955	39	148	93,7
П2-800-237-8С	4500	5300	45/90	955	43,8	148	90,9
П2-800-237-14С	9000	10 200	90/100	955	47	150	94,5
П2-1000-238-8С	4500	5350	36/71	1193,7	53,8	166	89,8
П2-1000-238-14С	9000	10 200	71/100	1210,6	57	168	94,0
П2-1000-247-8С	4500	5280	40/80	1074,4	63	162,5	90,8

Продолжение табл. 10.44

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Ток, А	Частота вращения, об/мин	Момент, кН·м	Динамический момент инерции 10 ³ кг·м ²	Масса, 10 ³ кг	КПД, %
П2-1000-247-14С	10 000	11 380	80/90	1193,7	63,5	164,5	94,5
П2-1000-248-8С	4500	5360	32/63	1343	80,25	189,5	89,9
П2-1000-248-14С	10 000	11 450	63/90	1515,9	83,45	191,5	93,7
П2-800-253-8С	5000	5720	90/125	530,5	52,5	101	93,7
П2-800-255-8С	5000	5740	63/100	758	60	118	93,2
П2-1000-257-8С	5600	6600	36/71	1485,5	82,3	200	90,7
П2-1000-257-14С	12 500	14 200	71/90	1681,3	85,8	203	94,3

Примечание. Структура условного обозначения двигателей:

П2 Х Х Х Х Х Х
1 2 3 4 5 6 7

где 1 — серия двигателей — П2; 2 — высота оси вращения, мм; 3 — условный диаметр якоря (габарит); 4 — условная длина сердечника якоря; 5 — количество щеток на каждом бракете; 6 — буква С — исполнение на подшипниках скольжения; буква К — исполнение на подшипниках качения; 7 — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70.

Таблица 10.45. Габаритные, установочные и присоединительные размеры реверсивных двигателей постоянного тока производства ПО ХЭМЗ (рис. 10.14)

Типоразмер двигателя	Размеры, мм											
	b_{13}	b_{30}	d_1	l_1	l_{18}	l_{33}	l_{46}	l_{47}	l_{48}	h	h_{11}	r_{30}
П2-630-215-8С	4040	4000	500	650	4000	4960	1700	1650	1140	630	400	1725
П2-630-216-8С			530	680	4300	5300	1850	1800	1145			
П2-800-217-8С			600	800	5405	6200	2230	1960	1310			
П2-800-217-14С			600	800	5625	6420	2230	2180	1310	800		1760
П2-800-218-8С			650	850	5705	6550	2380	2110	1360			
П2-800-218-14С			650	850	5925	6770	2380	2330	1360			
П2-800-227-8С	4500	4450	650	850	5430	6200	2080	2060	1360	800	400	2000
П2-800-227-14С			650	850	5650	6420	2080	2280	1360			
П2-800-228-8С			710	1030	5745	6835	2230	2280	1550			
П2-800-228-14С			710	1030	5955	7055	2230	2500	1550			
П2-800-237-8С	5050	5000	710	1030	5395	6495	2100	2070	1550	800	450	2250
П2-800-237-14С			710	1030	5615	6715	2100	2290	1550			
П2-1000-238-8С			750	1060	5810	6935	2300	2220	1640			
П2-1000-238-14С			750	1060	6030	7155	2300	2440	1640			
П2-1000-247-8С	5450	5400	750	1060	5920	6830	2280	2170	1640	1000	450	2370
П2-1000-247-14С			750	1060	6140	7050	2280	2390	1640			
П2-1000-248-8С			800	1090	6110	7220	2460	2320	1700			
П2-1000-248-14С			800	1090	6330	7440	2460	2540	1700			
П2-800-253-8С	5850	5800	630	800	3960	5210	1550	1650	1340	800	450	2550
П2-800-255-8С			630	800	4175	5410	1650	1750	1340			
П2-1000-257-8С			840	1100	5630	6780	2260	2000	1750			
П2-1000-257-14С			840	1100	5850	7000	2260	2220	1750			

Примечание. См. примеч. к табл. 10.44.

Таблица 10.46. Технические данные неререверсивных двигателей постоянного тока серии П2 20, 21-го и 24-го габаритов производства ПО ХЭМЗ

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Ток, А	Частота вращения, об/мин	Момент, кН·м	Динамический момент инерции, 10 ³ кг·м ²	Масса, 10 ³ кг	КПД, %
П2-630-201-5С	1600	930	1855	250/500	61,1	3,75	22,9	93,3
П2-630-202-8С	3150	930	3565	400/600	75,2	4,07	28,1	94,8
П2-630-203-5С	1600	930	1865	160/500	95,5	4,95	30,6	92,4
П2-630-212-НС	5000	930	5640	400/500	119,4	7,33	36	95,3
П2-630-213-6С	2500	930	2860	160/315	149,2	9	43,7	93,9
П2-630-214-6С	2500	930	2870	125/315	191	9,85	48,8	93,3
П2-630-241-8С	4000	930	4570	160/320	238,8	30	56,8	94
П2-630-243-8С	4000	930	4600	100/260	382	37,8	74,6	93,4

Примечание. См. примеч. к табл. 10.44.

Таблица 10.47. Габаритные, установочные и присоединительные размеры неререверсивных двигателей постоянного тока производства ПО ХЭМЗ (рис. 10.14)

Типоразмер двигателя	Размеры, мм											
	b_{13}	b_{30}	d_1	l_1	l_{18}	l_{33}	l_{46}	l_{47}	l_{48}	h	h_{11}	r_{30}
П2-630-201-5С			260	410	3060	3600	1300	1200	710			
П2-630-202-8С	3550	3380	280	470	3230	3850	1300	1350	800	630	330	1450
П2-630-203-5С			300	470	3270	3870	1400	1280	800			
П2-630-212-11С			360	450	3270	4000	1300	1450	825			
П2-630-213-6С	4040	4000	360	450	3350	4080	1450	1350	825	630	430	1725
П2-630-214-6С			380	550	3390	4300	1460	1400	925			
П2-630-241-8С			420	540	3390	4210	1320	1450	950			
П2-630-243-8С	5250	5200	480	650	3620	4580	1450	1550	1090	630	450	2275

Примечание. См. примеч. к табл. 10.44.

Таблица 10.48. Технические данные двигателей постоянного тока производства завода «Электротяжмаш»

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Ток, А	Частота вращения, об/мин	Момент, кН·м	Динамический момент инерции, 10 ³ кг·м ²	Масса, 10 ³ кг	КПД, %
П2-18/70-0,315	315	440	925	36	83,6	1,2	25,8	78,2
П2-21/90-4	4000	750	5700	100/250	382	12,5	80,0	93,2
П2-23/85-7,1	7100	930	8120	100/180	678	32,2	102,5	94
П2-23/106-7,1	7100	930	8200	80/125	847,6	38,8	119	94,3
П2-23/170-8	8000	930	9250	50/80	1528	64	215	93,4
П2-24/71-6,3	6300	825	8050	160/315	378	—	81,8	95
П2-25/130-9	9000	930	10200	63/120	1364	77,5	169	94,8
П2-26/150-10	10000	930	11350	50/100	1910	121,2	202	94,7

Примечание. Структура условного обозначения двигателей:

$$\begin{array}{c} \text{П2} \text{ X/X} \text{ X X} \\ \hline 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \end{array}$$

где 1 — серия П2; 2 — условный диаметр якоря (габарит)/длина сердечника якоря, мм; 3 — мощность, МВт; 4 — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70.

Таблица 10.49. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей постоянного тока производства завода «Электротяжмаш» (рис. 10.14)

Типоразмер двигателя	Размеры, мм								
	b_{30}	d_1	l_1	l_{33}	l_{46}	l_{47}	l_{48}	h	r_{30}
П2-18/70-0,315	3060	320	380	3810	1250	1600	670	630	1215
П2-21/90-2	4360	530	680	5800	1685	2060	1060	900	1800
П2-23/85-7,1	—	600	680	6300	—	—	—	900	—
П2-23/106-7,1	4460	630	680	6785	2205	2370	1210	900	2120
П2-23/170-8	—	830	650	9685	2900	2900	2900	900	2120
П2-24/71-6,3	5200	530	680	5690	1450	1850	1090	630	2210
П2-24/130-9	5200	630	1480	8440	2340	2570	1480	900	2285
П2-26/150-10	6700	830	—	7035	—	—	—	900	2683

Примечание. См. примеч. к табл. 10.48.

Таблица 10.50. Технические данные двигателей постоянного тока производства ЛПЭО «Электросила»

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Ток, А	Частота вращения, об/мин	Момент, кН·м	Динамический момент инерции, 10^3 кг·м ²	Масса, 10^3 кг	КПД, %
МП4000-32	4000	930	4780	32/80	1193,8	60	190	90
МП6300-63	6300	930	7170	63/80	955	42,5	182	94
МП6300-40	6300	930	7370	40/80	1504	85	195	91,9
МП9000-63	9000	750	8960	50/80	1719	60	208	93,7
МП12500-63	12500	930	14150	63/90	1895	125	230	95
МП1000-315	1000	440	2480	315/800	30,3	0,45	13	93,6
МП5600-300	5600	930	6325	300/400	178,3	16	70	95,2
МП7100-125	7100	930	8000	125/250	542,4	42,5	110,6	95,4
2МП2000-315	2×1000	440	2×2480	315/800	$2 \times 30,3$	0,91	27,2	93,6
3МП3000-315	3×1000	440	3×2480	315/800	$3 \times 30,3$	1,4	39,6	93,3
2МП3200-300	2×1600	465	2×3660	300/500	$2 \times 50,9$	2,5	45	93,9
2МП11200-300	2×5600	930	2×6325	300/500	$2 \times 178,3$	27,5	116	95,2
2МП14200-200	2×7100	930	2×7985	200/400	2×339	60	165	95,6
2МП14200-125	2×7100	930	2×8000	125/250	2×542	95,0	232	95,4
2МП14200-50	2×6300	930	2×7280	50/100	2×1203	212,5	316	92,8

Примечание. Структура условного обозначения двигателей:

$$\frac{\text{МП} \times \times \times}{1 \quad 2 \quad 3 \quad 4}$$

где 1 — серия МП; 2 — мощность, кВт; 3 — частота вращения, об/мин; 4 — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70.

Таблица 10.51. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей постоянного тока ЛПЭО «Электросила» (рис. 10.14)

Типоразмер двигателя	Размеры, мм									
	b_{30}	d_1	l_1	l_{18}	l_{33}	l_{46}	l_{47}	l_{48}	h	r_{30}
МП4000-32У4	4800	—	—	6250	—	—	—	—	—	—
МП6300-63У4	4450	730	850	6250	7785	2250	2350	1560	900	2050
МП6300-40	5500	830	950	5800	7295	2200	2350	1650	900	—
МП9000-63	4900	800	300	6250	8740	—	—	—	900	2225
МП12500-63	5950	860	870	6200	7000	—	—	—	900	2790

Продолжение табл. 10.51

Типоразмер двигателя	Размеры, мм									
	b_{30}	d_1	l_1	l_{18}	l_{33}	l_{46}	l_{47}	l_{48}	h	r_{30}
МП1000-315	1970	220	280	2600	3550	1110	1110	540	630	985
МП5600-300	4300	450	540	4125	5220	1350	1800	1120	630	—
МП7100-125	4900	530	680	4570	5805	1650	1950	1250	630	—
2МП2000-315	1970	300	380	5260	5920	7900	1900	750	630	985
3МП3000-315	1970	300	380	—	7860	3800	2500	750	630	985
2МП3200-300	2450	320	380	4980	6065	—	—	—	630	—
2МП11200-300	4300	500	540	6100	—	2565	2525	1120	630	—
2МП14200-200	4900	600	680	6500	7745	1900	1550	1300	900	2270
2МП14200-125	4900	780	850	7550	8945	3150	3150	1550	900	—
2МП14200-50	5800	930	1100	7600	8910	2050	1950	1910	1000	—

Примечание. См. примеч. к табл. 10.50.

ключающая перегрузка, как правило, $2,5I_{\text{ном}}$. Режимы работы S1, S7 или S8 по ГОСТ 183-74. Двигатели допускают нагрузку по току $1,15I_{\text{ном}}$ длительно во всем диапазоне регулирования частоты вращения при превышении температуры обмоток не выше допустимой для изоляции нагревостойкости класса F по ГОСТ 8865-70. Питание ДПТ осуществляется от статических и вращающихся преобразователей.

Двигатели допускают регулирование частоты вращения от нуля до номинальной изменением напряжения на якоре и от номинальной до максимальной ослаблением магнитного поля. Устойчивость работы ДПТ при частоте вращения, близкой к нулю, обеспечивается системой управления. Конструктивное исполнение ДПТ по способу монтажа — ИМ7312 по ГОСТ 2479-79.

Станины двигателей шихтованные, магнитопродов разъемный по горизонтали, состоит из листов электротехнической стали, запрессованных в стальной сварной корпус. Рабочий конец вала цилиндрический.

В ДПТ применены подшипники скольжения с комбинированной (кольцевой и принудительной проточной) системой смазки. При отказе принудительной системы смазки допускается работа ДПТ на кольцевой смазке не более 2 мин. Кожух ДПТ сварной, имеют люки и двери для обслуживания. Места прилегания кожуха и двери уплотнены резиной. Кожухи крепят прижимами. Посадку крестовины якоря и полушфты на вал выполняют с гарантированным натягом без шпонок. Для повышения эксплуатационной надежности ДПТ для крепления активной стали якоря применяют системы клиньев радиального и тангенциального распор.

Двигатели монтируют на стальных фундаментных плитах. Вентиляция ДПТ принудительная по замкнутому или разомкнутому циклу с применением воздухоохладителей. В замкнутом цикле вентиляции должно быть обеспечено избыточное давление 50 Па. Подвод охлаждающего воздуха осуществляется со стороны, противоположной коллектору, отвод — со стороны коллектора. Способ охлаждения — ICA97 или ICA37 по ГОСТ 20459-75.

Для ДПТ главных приводов реверсивных станов горячей прокатки (блужингов, слябингов, толстолистовых станов) характерен режим с очень малой продолжительностью включения. Для достижения оптимальной производительности стремятся вести прокатку во время первых проходов с максимально возможными обжатиями. Когда сечение прокатываемого металла становится меньше, обжатие следует уменьшить, в связи с этим для сокращения длительности проходов повышают скорость прокатки, поэтому ДПТ должен обладать большой перегрузочной способностью во всем диапазоне частот вращения, способностью быстрого регулирования частоты вращения в большом диапазоне с малыми потерями в обоих направлениях.

Двигатели одноклетевых станов холодной прокатки для привода моталок должны обеспечивать постоянное натяжение полосы и необходимое ускорение при растяге от заправочной до рабочей скорости прокатки. Основные требования, предъявляемые к ДПТ, — пониженный момент инерции якоря и большой диапазон регулирования частоты вращения ослаблением поля. Выбор ДПТ прокатной клетки производят по требуемому моменту и скорости прокатки.

Для малых обжатий при более высоких скоростях, как правило, допустимо изменение потока возбуждения в пределах от 1:2 до 1:2,5.

Аналогичные требования предъявляются к ДПТ привода непрерывных станов холодной прокатки. Часто выгодно распределить мощность каждого привода по нескольким двигателям, так как при этом можно существенно уменьшить ускоряемые массы.

10.13.3. Генераторы постоянного тока для питания двигателей прокатных станов

Для питания мощных ДПТ главных приводов прокатных станов используют генераторы постоянного тока. Основные технические данные генераторов представлены в табл. 10.52.

Генератор типа ГП-9500-375 УХЛ4 — крупнейший в мире генератор постоянного тока, по мощности он превосходит все существующие генераторы постоянного тока как у нас в стране, так и за рубежом. Генератор обладает рядом преимуществ по сравнению с генераторами, применяемыми для аналогичных целей. Он имеет усиленное крепление сердечника якоря, изоляция обмотки якоря выполнена на основе полиамидной пленки, введена пропитка лоллюсов вместе с компенсационными стержнями, повышающая надежность генератора, вкладыш подшипника имеет сферическую посадку, обеспечивающую его самоустановку, конструкция станины обеспечивает более точную симметрию магнитной системы.

Использование в конструкции генератора новых технических решений обеспечивает

равномерное распределение момента между дисками якоря и тем самым способствует повышению надежности генератора в эксплуатации. Генераторы допускают рабочую перегрузку $2,5I$ и отключающую $2,75I_{ном}$.

10.13.4. Крупные двигатели постоянного тока, отвечающие специальным требованиям

На основе крупных ДПТ, предназначенных для привода механизмов прокатных станов, выпускаются ДПТ, удовлетворяющие повышенным требованиям, для привода специальных стандов, гребных установок и т. д. В табл. 10.53 приведены основные технические данные таких ДПТ.

Двигатель типа П2-630-204,5-4КУЗ предназначен для привода линеек манипулятора блюминга. Двигатель допускает рабочую перегрузку, равную $3I_{ном}$, длительностью не более 15 с при номинальной частоте вращения; нечасто повторяющуюся при частоте вращения, близкой к нулю, перегрузку, равную $3,2I_{ном}$, длительностью не более 10 с и отключающую перегрузку, равную $3,5I_{ном}$.

Двигатель выполняется в закрытом исполнении на двух стоековых подшипниках качения, с цилиндрическим рабочим концом вала и вторым нерабочим кольцом вала для подсоединения аппаратуры автоматизации, на собственной фундаментной плите.

Двигатель типа 2МП25000-750 предназначен для привода мощных компрессоров, выполнен с трехходовой обмоткой якоря, что позволяет реализовать кратковременно мощность 12500 кВт в диаметре якоря 2500 мм.

Таблица 10.52. Технические данные крупных генераторов постоянного тока

Типоразмер генератора	Мощность, кВт	Напряжение, В	Ток, А	Частота вращения, об/мин	Масса, кг	КПД, %
ГП-5700-375	5600	900	6220	375	42	94,9
ГПМ-6300-500	6300	900	7000	500	41,5	94,9
ГП-7100-475	7100	930	7635	375	53	95,0
ГП-9500-375	9500	930	10215	375	60	95,0

Таблица 10.53. Технические данные двигателей постоянного тока, отвечающие специальным требованиям

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Ток, А	Частота вращения, об/мин	Момент, кН·м	Момент инерции, 10^3 кг·м ²	Масса, 10^3 кг	КПД, %
П2-630-204,5-4К	800	750	1240	40	11,8	5,15	46,0	86,2
2МП25000-750*	2×12500	930	14015	750	2×159	110	274,0	95,9
2МП17600-130*	2×8800	1000	9260	130/185	646	—	208,0	95

* Двигатели имеют двухъякорное исполнение.

Двигатель типа 2МП17600-130 предназначен для привода судовых гребных винтов. Двигатель выполнен в брызгозащищенном исполнении. Вентиляция принудительная, от двух вентиляторов, установленных на его станине. Выполнение магнитопровода шихтованным обеспечивает высокую коммутационную надежность при работе с большими скоростями, частыми реверсами, большими кратковременными перегрузками по току. Два якоря ДПТ имеют общий полый вал, вращающийся на двух стойковых подшипниках скольжения с дисковой смазкой. Вал ДПТ имеет фланец для присоединения к гребному валу судна.

10.13.5. Двигатели постоянного тока для электроприводов шахтно-подъемных механизмов

Для электроприводов шахтно-подъемных механизмов разработана серия ДПТ 21-го и 25-го габаритов. Основные технические данные таких ДПТ приведены в табл.

Таблица 10.54. Технические данные двигателей постоянного тока для электроприводов шахтно-подъемных механизмов

Типоразмер двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Ток, А	Частота вращения, об/мин	Момент, кН·м	Момент инерции, 10 ³ кг·м	Масса, 10 ³ кг	КПД, %
П2-630-213-4к	1600	930	1945	71	215	9	48,5	89
П2-630-214-4к	1600	930	1945	56	273	9,5	58,5	88
П2-630-214-8к	3150	930	3640	125	240	10,18	59,5	93,6
П2-630-215-4к	1600	930	2000	40	382	12,95	70,5	86,8
П2-630-215-8к	3150	930	3650	90	334	13,65	75,4	93
П2-630-216-8к	3150	930	3680	71	424	16,25	88,5	92,4
П2-800-253-8к	5000	930	5720	90	530	207	100	94,2
П2-800-255-8к	5000	930	5740	63	758	240	119,5	93,7
П2-800-256-8к	5000	930	5780	50	955	263	138,3	93,1
П2-1000-213-4	1600	930	1945	71	215	9	42	89
П2-1000-214-4	1600	930	1945	56	273	9,5	49	88
П2-1000-214-8	3150	930	3640	125	240	10,18	50	93,6
П2-1000-215-4	1600	930	2000	40	382	12,95	65	86,8
П2-1000-215-8	3150	930	3650	90	334	13,65	65,5	93
П2-1000-216-8	3150	930	3680	71	424	16,25	82	92,4
П2-23/85-2,8	3150	930	3760	50	615	—	92	90,1
	2500	750	3790	40	610	—	92	88
	2000	600	3900	32	610	—	92	85,5
П2-24/105-3,55	4500	930	5280	40	1100	—	132	91,6
	3550	750	5190	32	1080	—	132	91,2
	2800	600	5270	25	1090	—	132	88,5
П2-26/41-2,25	2500	930	2945	50	487	—	79	91,3
	2000	750	2980	40	487	—	79	89,4
	1600	600	3050	32	487	—	79	87,5
П2-26/51-2,25	2500	930	2960	40	610	—	89	90,8
	2000	750	3040	32	610	—	89	87,7
	1600	600	3565	25	624	—	89	74,8

10.54, габаритные, установочные и присоединительные размеры — в табл. 10.55.

Двигатели допускают работу при относительной влажности воздуха до 98% при +25°C (исполнение О4). Окружающий воздух не должен быть взрывоопасным, не должен содержать агрессивных примесей, паров масла, токопроводящей пыли. Рабочая перегрузка — $2I_{ном}$ в течение не более 15 с, отключающая — $2,25I_{ном}$. Рабочий конец вала цилиндрический, ступенчатый. В ДПТ применены подшипники качения. Смазка подшипников консистентная. Амплитуда вибрации не должна превышать 90 мкм. Действующее значение переменной составляющей тока якоря не должно превышать 2% при номинальной частоте вращения. Двигатели 21-го габарита могут изготавливаться в консольном исполнении. Конструктивное исполнение для консольных машин — ИМ5705 по ГОСТ 2479-79, при такой конструкции якорь ДПТ насаживают на вал барабана шахтного подъемника, что позволяет снизить массу машины в 1,2—1,4 раза.

Таблица 10.55. Габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей для электроприводов шахтно-подъемных механизмов (рис. 10.14)

Типоразмер двигателя	b_{13}	b_{30}	d_1	l_1	l_{18}	l_{33}	l_{46}	l_{47}	l_{48}	h	h_{11}	r_{30}
П2-630-213-4к	4040	4000	380/340	650	3140	3625	1150	1200	950	630	420	1825
П2-630-214-4к			450/400		3530	4070	1450	1320	980			
П2-630-214-8к			450/400		3630	4170	1450	1420	980			
П2-630-215-4к			500/450		3610	4190	1400	1420	720			
П2-630-215-8к			500/450		3850	4440	1550	1520	1050			
П2-630-216-8к			500/450		4070	4780	1670	1640	1150			
П2-800-253-8к	5850	5800	550/560	720	3500	4100	1200	1400	1140	800	450	2550
П2-800-255-8к			550/620	800	3700	4300	1300	1500	1140			
П2-800-256-8к			550/620	950	3900	4550	1400	1600	1290			
П2-1000-213-4	4040	4000	—	—	2100	—	—	1800	800	1000	420	1725
П2-1000-214-4			—	—	2400	—	—	2100	860			
П2-1000-214-8			—	—	2600	—	—	2300	930			
П2-1000-215-4			—	—	2550	—	—	2250	960			
П2-1000-215-8			—	—	2800	—	—	2500	1030			
П2-1000-216-8			—	—	2950	—	—	2650	1130			
П2-23/85-2,8	—	4200	530	680	—	6440	1650	2000	1180	900	—	2120
П2-25/105-3,55	—	5900	630	800	—	6850	1800	2060	1320	900	—	2465
П2-26/51-2,25	—	6300	530	680	—	5720	1280	1650	1180	800	—	2700
П2-26/41-2,25	—	6300	500	650	—	5550	1220	1600	1120	800	—	2700

10.14. Перспективы развития конструкции машин постоянного тока

Направления совершенствования машин постоянного тока в решающей степени определяются общими тенденциями развития электропривода производственных машин и прежде всего такой прогрессивной и динамичной отрасли машиностроения, какой является станкостроение.

На всех этапах развития они неизменно подчиняются необходимости решения следующих задач:

- максимально возможного расширения диапазона регулирования частоты вращения;
- максимально возможного увеличения вращающего момента (мощности) двигателя при заданном значении высоты оси вращения;

- улучшения динамических свойств двигателей и их виброакустических характеристик;
- повышения эксплуатационной надежности.

С 60-х годов к конструкции двигателей стали предъявляться еще два непреложных требования:

- соответствие установочно-присоединительных размеров и номинальных данных рекомендациям МЭК;

обеспечение надежной работы от тиристорных преобразователей.

За последние три десятилетия в мировом электромашиностроении произошла смена четырех поколений конструкций двигателей постоянного тока.

Поколение	Статор	Мощность, о. е.	Диапазон регулирования
1	Массивный, круглый с явно выраженными полюсами	1	1 : 5
2	То же	3	1 : 10
3	Шихтованный, круглый с неявно выраженными полюсами	5	1 : 100
4	Шихтованный, многогранный (прямоугольный), форсированное охлаждение	10	1 : 1000

Примечание. Установочно-присоединительные размеры не соответствуют рекомендациям МЭК.

Данные по срокам разработки новых конструкций ведущими европейскими электромашиностроительными фирмами:

период морального старения серий машин постоянного тока в среднем составляет:

в ФРГ — 5 лет; в ЧССР — 7 лет; в ГДР — 10 лет; в СССР — 12 лет;

за 70-е годы удельная масса двигателей европейскими электромашиностроительными фирмами снижена вдвое.

Существенное повышение требований к виброакустическим характеристикам двигателей при одновременном увеличении уровня теплового и коммутационного использования, являющееся следствием значительного увеличения их мощности, при создании новых конструкций выдвинуло проблему кардинального повышения точности и стабильности технологических процессов путем перехода с преимущественно ручных способов производства к так называемой машинной технологии.

Развитие производства машин постоянного тока в последнее десятилетие во всех индустриально развитых странах характеризуется внедрением во все возрастающих масштабах штамповочных, намоточных, сборочных автоматов, а также автоматизированных средств их испытаний.

Соответствие конструкции двигателей условиям машинного производства является принципиально новым требованием, которому должны удовлетворять машины постоянного тока современных поколений.

Советским электромашиностроением за 25 лет в результате целенаправленной работы коллективов ВНИИЭлектромаша, ВНИИТЭлектромаша, ЛПЭО «Электросила», прокопьевского, харьковского заводов «Электромашина» и Псковского электромашиностроительного завода единичные мощности двигателей серии П, 2П и 4П увеличены практически для каждого габарита соответственно:

длины якоря — в результате его форсированного охлаждения.

Ограничивающими факторами при создании конструкции двигателей второго поколения с круглой станиной-магнитопроводом являлись уровень теплового использования, допускаемый изоляционными материалами класса В, и расход охлаждающего воздуха, достижимый вентиляторным колесом, встроеным внутрь круглого корпуса.

При создании конструкции двигателей 3-го поколения с многогранной шихтованной станиной ограничивающими факторами являлись уровень теплового использования, допускаемый электроизоляционными материалами нагревостойкости класса F, и расход воздуха, обеспечиваемый независимым электровентилятором приемлемой массы при заданном допустимом уровне звукового давления.

Для двигателей отечественных серий отношение диаметра якоря к высоте оси вращения составляет: в серии П — 0,8; в серии 2П — 1,0; в серии 4П — 1,2.

Значения отношений активной длины якоря к его диаметру (l_a/D_a), реализованные в конструкциях трех поколений серий П, 2П и 4П, представлены на рис. 10.15, там же для сравнения показано это отношение, характерное для двигателей старой серии ПН. Переход от круглой станины к многогранной в двигателях серии 4П при равенстве высот оси вращения в сравнении с серией 2П позволил увеличить диаметры якорей в 1,5–1,7 раза. Объем якоря с учетом большей его активной длины в двигателях серии 2П в среднем больше в 2,1 раза, чем в серии П; в двигателях серии 4П больше в 2,2 раза, чем в серии 2П.

Увеличение линейной нагрузки, осуществ-

h , мм	112	132	160	180	200	225	250	355
Серия П	0,4	1,0	3,8	8,0	—	14	25	100
Серия 2П	2,2	5,5	11	18,5	30	45	75	315
Серия 4П	11	22	45	25	110	160	250	1000

Проблема максимизации номинальной мощности в заданном габарите двигателя, определяемом его высотой оси вращения, решалась путем увеличения диаметра и длины якоря, а также повышения линейной нагрузки. Максимально возможное увеличение диаметра якоря было достигнуто путем оптимизации параметров магнитопровода и повышения теплоотдачи обмоток статора, максимально возможное увеличение активной

длины в двигателях серий 2П и 4П, характеризуется данными, представленными на рис. 10.16. Помимо совершенствования аэродинамики воздушного тракта и увеличения расхода охлаждающего воздуха, как показано на рис. 10.17, повышение электромагнитного использования якоря в конструкциях двигателей второго и третьего поколений обусловлено переходом на более нагревостойкий класс электроизоляционных

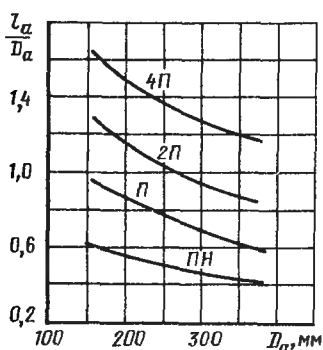


Рис. 10.15. Отношение l_a/D_a в двигателях серий ПН, П, 2П и 4П.

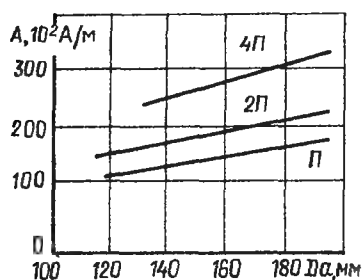


Рис. 10.17. Расход охлаждающего воздуха в двигателях с различной высотой оси вращения разных серий

материалов в каждой новой серии по сравнению с предыдущей; повышением коэффициента заполнения паза; утоньшением корпусной изоляции.

Соотношение масс двигателей с одинаковым номинальным моментом 60 Н·м, принадлежащих трем поколениям конструкций:

Тип	Год выпуска	Высота оси вращения, мм	$C, \text{ дм}^3/(\text{Н} \cdot \text{м})$	Масса, кг	Момент инерции, $10^{-3}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
П61	1956	225	0,07	163	140
2П160	1974	160	0,07	159	102
4П112	1985	112	0,07	122	57

Существенно при этом подчеркнуть, что стремление снизить высоту оси вращения приводит к относительному уменьшению доли торцевых зон конструкции в общей массе двигателя. Так, при равенстве номинальных вращающих моментов отношение объема торцевой зоны двигателей серий 2П к П и серий 4П к 2П практически пропорционально соотношению их высот оси вращения.

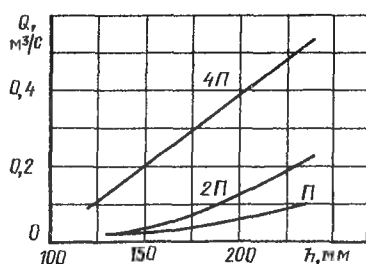


Рис. 10.16. Линейная нагрузка якоря в зависимости от его диаметра в двигателях серий П, 2П и 4П.

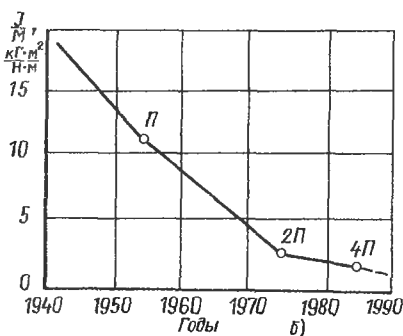
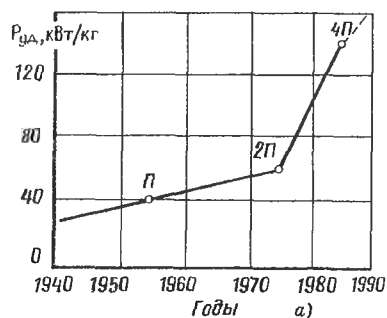


Рис. 10.18. Динамика изменения удельной мощности (а) и удельной механической инерционности ДПТ по годам начала освоения серий (б)

Динамика изменения удельной мощности и механической инерционности двигателей разных серий с высотой оси вращения, равной 160 мм, представлена на рис. 10.18, а и б.

По сравнению с серией П в двигателях постоянного тока серии 4П обеспечено в среднем увеличение удельной мощности в 2–2,5 раза при одновременном снижении механической инерционности якоря в 2,5–3 раза.

Список литературы

1. Антонов М. В., Герасимова Л. С. Технология производства электрических машин. М.: Энергоатомиздат, 1982. 512 с.
2. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник/А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболевская. М.: Энергоатомиздат, 1982. 504 с.
3. Асинхронные двигатели общего назначения/Е. П. Бойко, Ю. В. Гаинцев, Ю. М. Ковалев и др. М.: Энергия, 1980. 488 с.
4. Борисенко А. И., Костиков О. Н., Яковлев А. И. Охлаждение промышленных электрических машин. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
5. Вольдек А. И. Электрические машины. Л.: Энергия, 1978. 832 с.
6. Глебов И. А. Системы возбуждения мощных синхронных машин. Л.: Наука, 1979. 316 с.
7. Гидрогенераторы/И. А. Глебов, В. В. Домбровский, А. А. Душатау и др. Л.: Энергоатомиздат, 1982. 366 с.
8. Глебов И. А., Даниленчик Я. Б. Научные основы проектирования турбогенераторов. Л.: Наука, 1986. 184 с.
9. Зимин В. И., Каплан М. Я., Палей М. М. Обмотки электрических машин. — 7-е изд. Л.: Энергия, 1975. 288 с.
10. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины. М.: Энергия, 1980. 928 с.
11. Кожевников В. А., Копылов И. П. Развитие теории и конструкции машин постоянного тока. Л.: Наука, 1985. 146 с.
12. Копылов И. П. Электрические машины. М.: Энергоатомиздат, 1986. 360 с.
13. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. М.: Высшая школа. 1987. 248 с.
14. Нормы испытания электрооборудования и аппаратов электроустановок потребителей/Главгосэнергонадзор. М.: Энергоатомиздат, 1982. 104 с.
15. Пекке В. З. Синхронные компенсаторы: Конструкция, монтаж, испытания и эксплуатация. М.: Энергия, 1980. 270 с.
16. Правила устройства электроустановок. — 6-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1986. 648 с.
17. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок. — 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1986. 424 с.
18. Проектирование электрических машин/Под ред. И. П. Копылова. М.: Энергоатомиздат, 1980. 496 с.
19. Сибикин Ю. Д. Эксплуатация и ремонт электрооборудования и сетей машиностроительных предприятий: Справочник. — 2-е изд. М.: Машиностроение, 1981. 288 с.
20. Справочник по автоматизированному электроприводу/Под ред. В. А. Елисеева, А. В. Шинянского. М.: Энергоатомиздат, 1983. 616 с.
21. Филиппов И. Ф. Теплообмен в электрических машинах. Л.: Энергоатомиздат, 1986. 256 с.
22. Шубов И. Г. Шум и вибрация электрических машин. Л.: Энергия, 1974. 220 с.
23. Электротехнический справочник. Т. 2/Под общ. ред. профессоров МЭИ (гл. ред. И. Н. Орлов). — 7-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1986. 712 с.

А

Активное сопротивление фазы 15
Асинхронные машины, конструкция 216
— — регулирование 221
— — технические данные 223
Аттестация качества 23

В

Вентиляция 56
— условные обозначения 59
Вероятность безотказной работы 19
Вибрация, измерение 21, 107
— источники 24
— классы 119
— показатели 26
Воздействующие факторы биологические, климатические, механические, специальные 35
Взрывоопасные зоны 119
Выбор защиты электродвигателей 128
— электродвигателей 117
Выводы обмоток, условные обозначения 69, 91

Г

Генераторы постоянного тока 396, 410, 438
— синхронные явнополюсные автономных систем, особенности 175
Генераторы-двигатели 168
Гидрогенераторы вертикального исполнения, конструкция 154
— — — охлаждение 159
— — — вибрации и шумы 175
— — — капсульные 168
— — — классификация 154
— — — режимы работы 172
— — — системы возбуждения 171
Группы однородной продукции 30

Д

Двигатели асинхронные, общие сведения 216
— — общего назначения 223
— — специального назначения 336
— — постоянного тока общие сведения 344
— — — технические данные 351
— — синхронные, классификация 187
— — неявнополюсные 204
— — — пуск 207
— — — системы возбуждения 208
— — — явнополюсные 188
— — — системы возбуждения 204
Диагностика электрических машин 111
Долговечность 19
Допустимое число включений в час 123

И

Изоляция электрических машин, допустимые превышения температуры 48
— — — конструкция 64, 85
— — — нагревостойкость 46
— — — старение 46
Индуктивность фаз обмоток 15
Индуктивные сопротивления обмоток 15, 211
Индукционный регулятор 222, 336
Исполнение электрических машин климатическое 35
— — — по способу монтажа 38
— — — по степени защиты 43
Испытания электрических машин аттестационные 98
— — — классификационные 98
— — — на надежность контрольные 108
— — — — определительные 108
— — — нормы и методы 100
— — — периодические 97, 100
— — — прямо-сдаточные 97, 98
— — — приемочные 96
— — — при ремонте 132
— — — промышленные 96
— — — специальные 98
— — — синхронных, особенности 209
— — — типовые 96

К

Категории размещения 35
Компенсаторы синхронные назначения 182
— — с водородным охлаждением 183
— — с воздушным охлаждением 182
— — режимы работы, пуск 187
— — системы возбуждения 186
Коэффициент вытеснения тока 15
— заполнения паза 65
— инерции 54
— искажения синусоидальности кривой намагничивания 210
— обмоточный, распределения 67
— полезного действия 17, 108, 213
— ускорения испытаний 108
— формы поля 15

М

Машины электрические 5
— — асинхронные 7, 216
— — вентильные 9
— — двухмерные 5
— — емкостные 5
— — идеальные 5
— — индуктивно-емкостные 5
— — индуктивные 5

Машины электрические индукторные 7

- — коллекторные 8, 344
- — линейные 6
- — обобщенные 11
- — одномерные 6
- — параметрические 6
- — постоянного тока 6, 344
- — синхронные 7, 140
- — торцевые 6
- — униполярные 8

Метод средних потерь 121

- эквивалентного момента 121
- эквивалентной мощности 122
- экспертных оценок*112

Модель обобщенного электромеханического преобразователя 14

— электрической машины математическая 11

Момент вращающий 13

— инерции 16

Н

Нагревостойкость изоляционных материалов 46

Нагрузка электрических машин 17

- — — кратковременная 125
- — — номинальная 18
- — — стохастическая 126
- — — ударная 124

Надежность электрических машин 18

- — — испытания 108
- — — показатели 19
- — — прогнозирование 112

Номинальные данные 17, 37

О

Обмотки возбуждения машин постоянного тока 95

- — синхронных машин 93
- двухфазных и однофазных асинхронных двигателей 81
- компенсационные 91
- машин переменного тока двухслойные 75
- — — — — концентрические 79
- — — — — одно-двухслойные 79
- — — — — однослойные 73
- — — — — с дробным числом пазов 77
- — — — — стержневые волновые 78
- — — — — постоянного тока волновые 88
- — — — — искусственно-замкнутые 90
- — — — — лягушачьи (комбинированные) 91
- — — — — петлевые 86
- — — — — с мертвой секцией 90
- многоскоростных асинхронных двигателей 79

Отказы электрических машин 21, 127

Отношение короткого замыкания 210

П

Параметры электрических машин 14

- — — в относительных единицах 20
- электрической энергии 33

Пожароопасные зоны 118

Показатели работоспособности 112

Потери в электрических машинах классификация, распределение 45

Постоянная самоторможения 213

Постоянного тока машины 344

— — — большой мощности 434

— — — замена 420

— — — перспективы развития конструкции 443

Постоянные времени 211

Преобразование энергии 9

Прогнозирование технического состояния 111

Р

Режимы работы асинхронных машин специальные 222

— — — электрических машин 10, 51

Ремонт электрических машин 129, 136

— — — планово-предупредительный (система) 131

Ремонтопригодность 114

Ремонтный пикл 130

С

Скольжение 9, 268

Стандарт на электрические машины основополагающие 31

— — — — СЭВ, МЭК 32

Стандартизация в электромашиностроении, принципы 29

Синхронные генераторы явнополюсные 175

— гидрогенераторы 140

— двигатели 187

— компенсаторы 182

— машины 140

— — особенности испытаний 209

— — перспективы развития 214

Т

Тахогенераторы 433

Торможение динамическое 10

— рекуперативное 10

Турбогенераторы с воздушным охлаждением 141

— с водородно-водяным 143

— с водородным 142

— с полным водяным 148

— с масляным 149

— системы возбуждения 151

— режим работы 152

— ударные 153

У

Уравнения движения 13

— обобщенной электрической машины дифференциальные 12

Уравнительные соединения 86

Установочно-присоединительные размеры 39

Ф

Фазорегуляторы (фазовращатели) 222, 341, 336

Х

Хранение электрических машин 36, 114

Ш

Шраге — Рихтера двигатель 6, 8

Шум электрических машин измерения 27, 107

— — — источники, уровни 24

Асинхронные машины

Двигатели:

А2 300
 А2...ОМ 321
 А2...СХ 320
 А2...Т 319
 А2...УП 320
 А2...Ф 321
 А2...Х 319
 А3 297
 А4 324, 326, 329, 331
 АВ2 319
 АВШ 299
 АДО 328, 331
 АИ 280
 АИР 282
 АИРХ 282
 АИС 282
 АИ модификации 282
 АКСБ-15 335
 АК2 315
 АК4 324, 327, 329
 АО2 300
 АО2 модификации 312
 АО2...ОМ 321
 АО2-СХ 320
 АО2...Т 319
 АО2...УП 320
 АО2...Х 319
 АО2...ХЛ 320
 АО3 293
 АОК2 315
 АОК2-560 335
 АК2-630 335
 АОЛ2 302
 АОЛС2 310
 АОП2 309
 АОП2...ОМ 323
 АОПВ2 321
 АОС2 310
 АОС2...ОМ 323
 АПВ2 319
 АПВ2...Ф 321
 АСВ2 319
 АТД4 323
 4А 223, 228, 233
 4А многоскоростные 249
 4А на частоту 60 Гц 254
 4А...Б 258
 4А...Б2П...ПБ 268, 272
 4А...Е 257
 4А...Ж 258
 4А...Н 257
 4А...ОМ 260
 4А...П2 263
 4А...РН 259
 4А...С 259
 4А...СХ 259

4А...Т 258
 4А...УП 260
 4А...Х 259
 4А...ХЛ 259
 4АВ 257
 4АК 255
 4АМ 273
 4АМХ 274
 4А модификации 279
 4АМР 279
 4АМС 279
 4АА 223, 231, 244
 4АН-НЛБ 266
 4АН...ОМ 260
 4АНК 255
 4АР 246
 4АС 246
 4АФ...НЛБ 266
 4АХБ2П...ПБ 272
 4АХД 273
 ВАК3 329, 333
 ВАМ 333
 ДА304 324, 327, 330
 СВМ-6М 300
 ЭД1К, ЭД3К 300

Индукционные регуляторы:

ИР 336
 ИР-6 340

Фазорегуляторы:

ФР, ФРО 341

Постоянного тока машины

Возбудители:

В818 432

Генераторы:

ГП 441
 ГПМ 441
 МП 439
 2МП 439, 441
 П 410
 П2 438, 441, 442
 2ПН 396

Двигатели:

П 399, 421
 ПБ 404, 424
 ПБС(ПБСТ) 412, 424
 ПГ(ПГТ) 428
 ПР 425
 ПС(ПСТ) 418
 П2 369, 436, 441, 444
 4П 351, 444
 4П 355, 450 367

4ПБ 352

4ПО 352

4ПФ 360

ЭП 431

Тахогенераторы:

ПТ 433

Синхронные машины*Генераторы для автономных систем:*

БГСП 17-61-8 177

ГАБ-М; ГАБ-М1 181

ГСФ100М, ГСФ200 180

ЕСС 179

ОС 178

СГ2-85/45-12 175

СГД103-8 176

СГД625-1500; СГД625-1500М 176

СГД2-17; СГД2М-П 177

Генераторы-двигатели:

Загорской ГЭС 168

Гидрогенераторы:

ВГС 1190/215-48 161

ГЭС Верхне-Тиреберская 165

— Пурмари 165

— Сальто-Гранде 164

— Саяно-Шушенская 163

СВ 161

СГК 535/220-56 170

СТКВ 776/125 169

Двигатели:

ВДС-375; ВДС2-325 201

ДСЗ-21 199

СДК2 193

СДКМ2 194

СДКП2 196

СДМЗ-2 198

СДМП2 198

СДН-2; СДНЗ-2 189

СТД 205, 207

СТДП 207

ТДС 205

Компенсаторы:

с водородным охлаждением (КСВБО) 184

с воздушным охлаждением 182

Турбогенераторы:

Т 141

ТВФ 143

ТВВ 145

ТВМ 146, 150

ТГВ 146, 150

ТИ 153

ТЭВ-800-2 148

Предисловие	3	3.3. Режимы работы электрических машин	51
Том 1		3.4. Охлаждение электрических машин	56
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ		Раздел 4. Обмотки электрических машин	64
Раздел 1. Общие понятия и определения	5	4.1. Типы обмоток электрических машин	64
1.1. Основные типы и классификация электрических машин	5	4.2. Конструктивное исполнение обмоток машин переменного тока	64
1.2. Преобразование энергии в электрических машинах	9	4.3. Обмоточный коэффициент	67
1.3. Математические модели электрических машин	11	4.4. Обозначение выводов обмоток машин переменного тока	69
1.4. Параметры электрических машин	14	4.5. Схемы трехфазных распределенных обмоток	73
1.5. Термины и определения	16	4.5.1. Однослойные обмотки	73
1.6. Надежность электрических машин	18	4.5.2. Двухслойные петлевые обмотки	75
1.6.1. Основные понятия	18	4.5.3. Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу	77
1.6.2. Показатели надежности	19	4.5.4. Стержневые волновые обмотки машин переменного тока	78
1.6.3. Причины отказов	21	4.5.5. Обмотки для механизированной укладки	79
1.6.4. Аттестация качества электрических машин	23	4.5.6. Обмотки многоскоростных асинхронных двигателей	79
1.7. Вибрация и шумы электрических машин	24	4.6. Особенности схем обмоток двухфазных и однофазных двигателей	81
1.7.1. Источники вибрации и шума электрических машин	24	4.7. Обмотки якорей машин постоянного тока	85
1.7.2. Показатели вибрации электрических машин	26	4.7.1. Особенности конструктивного выполнения обмоток якоря	85
1.7.3. Измерения шума и вибрации	27	4.7.2. Петлевые обмотки якоря	86
Раздел 2. Стандартизация в электромашиностроении	29	4.7.3. Волновые обмотки якоря	88
2.1. Общие сведения и задачи стандартизации	29	4.8. Компенсационные обмотки машин постоянного тока	91
2.2. Параметры электрической энергии	33	4.9. Обозначение выводов обмоток машин постоянного тока	91
2.3. Внешние воздействующие факторы	35	4.10. Обмотки возбуждения	93
2.4. Номинальные данные и установочно-присоединительные размеры электрических машин	37	4.10.1. Обмотки возбуждения синхронных машин	93
2.5. Конструктивное исполнение электрических машин по способу монтажа	38	4.10.2. Обмотки возбуждения машин постоянного тока	95
2.6. Исполнения электрических машин по степени защиты от воздействия окружающей среды	43	Раздел 5. Промышленные испытания электрических машин	96
Раздел 3. Нагрев и охлаждение электрических машин	45	5.1. Виды промышленных испытаний	96
3.1. Распределение потерь по объему и нагрев электрических машин	45	5.2. Программы приемочных и приемосдаточных испытаний	98
3.2. Допустимая температура частей электрических машин	46	5.3. Нормы и методы испытаний новых машин	100

5.3.1. Измерение сопротивления изоляции	100	7.3. Испытание электрических машин при ремонте	132
5.3.2. Измерение сопротивления обмоток при постоянном токе	101	7.4. Организация электроремонтного производства	136
5.3.3. Испытание изоляции на электрическую прочность	101	7.5. Технические условия и организация ремонта	137
5.3.4. Испытание междувитковой изоляции обмоток	103	7.5.1. Технические условия ремонта	137
5.3.5. Испытание на кратковременную перегрузку по току	104	7.5.2. Структура электроремонтного предприятия	138
5.3.6. Испытания при повышенной частоте вращения	104	ЧАСТЬ ВТОРАЯ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ	
5.3.7. Испытание на нагревание	104	Раздел 8. Синхронные машины	140
5.3.8. Определение коэффициента полезного действия	106	8.1. Общие сведения	140
5.3.9. Измерение вибрации и уровня шума	107	8.2. Турбогенераторы	140
5.3.10. Характеристики и параметры электрических машин	108	8.2.1. Общая характеристика	140
5.4. Испытания на надежность	108	8.2.2. Турбогенераторы с воздушным охлаждением серии Т	141
5.4.1. Задачи и методы испытаний	108	8.2.3. Турбогенераторы с водородным охлаждением серии ТВФ	142
5.4.2. Контрольные испытания	109	8.2.4. Турбогенераторы с водородно-водяным охлаждением серии ТВВ	143
5.4.3. Определительные испытания	110	8.2.5. Турбогенераторы с полным водяным охлаждением серии ТЗВ	148
5.4.4. Диагностика и прогнозирование технического состояния электрических машин	111	8.2.6. Турбогенераторы серии ТГВ и ТВМ	149
5.4.5. Выбор показателей работоспособности	112	8.2.7. Системы возбуждения, регулирования и защиты	151
Раздел 6. Эксплуатация электрических машин	113	8.2.8. Режимы работы турбогенераторов	152
6.1. Общие положения	113	8.2.9. Ударные турбогенераторы	153
6.1.1. Основные задачи эксплуатации	113	8.3. Гидрогенераторы	154
6.1.2. Основные понятия, характеризующие эксплуатацию электрических машин	113	8.3.1. Классификация гидрогенераторов	154
6.2. Хранение электрических машин	114	8.3.2. Конструкция и технические данные вертикальных гидрогенераторов нормального исполнения	154
6.2.1. Условия хранения электрических машин	114	8.3.3. Гидрогенератор для Саяно-Шушенской ГЭС	163
6.2.2. Классификация помещений с электроустановками и размещением электрооборудования	116	8.3.4. Гидрогенератор для ГЭС Сальто-Гранде	164
6.3. Выбор электродвигателей	117	8.3.5. Гидрогенератор для Верхне-Терiberской ГЭС	165
6.3.1. Выбор электродвигателей по роду тока, конструктивному исполнению, классу вибрации и уровню шума	117	8.3.6. Гидрогенератор для ГЭС Пурнари	165
6.3.2. Выбор электродвигателей по мощности	120	8.3.7. Генераторы-двигатели для ГАЭС	166
6.3.3. Выбор электродвигателей для различных режимов работы	121	8.3.8. Особенности конструкции и технические данные капсульных гидрогенераторов	168
6.4. Основные причины отказов электрических машин	127	8.3.9. Капсульный гидрогенератор для ГЭС Джердап II – Железные ворота II	169
6.4.1. Виды неисправностей и причины их появления	127	8.3.10. Капсульный гидрогенератор для Даугавпилсской ГЭС	170
6.4.2. Выбор защиты электродвигателей	128	8.3.11. Системы возбуждения гидрогенераторов	171
Раздел 7. Организация и нормы ремонта электрических машин	129	8.3.12. Режимы работы гидрогенераторов	172
7.1. Общие вопросы ремонта электрических машин	129	8.4. Синхронные явнополюсные генераторы для автономных энергетических систем	175
7.2. Объем работ по техническому обслуживанию и ремонту	131	8.4.1. Особенности генераторов автономных систем	175

8.4.2. Синхронный генератор типа СГ 2-85/45-12	175	8.6.14. Системы возбуждения неявнополусных синхронных двигателей	208
8.4.3. Синхронный генератор типа СГД 103-8	176	8.7. Особенности испытаний синхронных машин	209
8.4.4. Синхронные генераторы типа СГД 625-1500 и СГД 625-1500М	176	8.7.1. Испытания на стенде завода-изготовителя	209
8.4.5. Синхронные генераторы серии СГД2 и СГД2М 17-го габарита	176	8.7.2. Испытания на месте установки	212
8.4.6. Синхронный генератор типа БГСП 17-61-8	177	8.8. Перспективы развития синхронных машин	214
8.4.7. Синхронные генераторы серий ОС и ЕСС	178	8.8.1. Основные направления развития синхронных машин	214
8.4.8. Синхронные генераторы типа ГСФ	180	8.8.2. Перспективы развития гидрогенеростроения	215
8.4.9. Синхронные генераторы типа ГАБ	181	8.8.3. Перспективы развития турбогенеростроения	215
8.5. Синхронные компенсаторы	182	Раздел 9. Асинхронные машины	216
8.5.1. Назначение синхронных компенсаторов	182	9.1. Общие сведения	216
8.5.2. Синхронные компенсаторы с воздушным охлаждением	182	9.1.1. Асинхронные машины как преобразователи энергии	216
8.5.3. Синхронные компенсаторы с водородным охлаждением	183	9.1.2. Конструкция и основные эксплуатационные характеристики	216
8.5.4. Бесщеточная система возбуждения компенсаторов	186	9.1.3. Особенности асинхронных двигателей с фазными и короткозамкнутыми роторами	218
8.5.5. Система водородного охлаждения компенсаторов	187	9.1.4. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей	221
8.5.6. Пуск компенсаторов	187	9.1.5. Специальные режимы асинхронных машин	222
8.5.7. Режимы работы компенсаторов	187	9.2. Асинхронные двигатели серии 4А	223
8.6. Синхронные двигатели	187	9.2.1. Структура и характеристика серии	223
8.6.1. Классификация синхронных двигателей	187	9.2.2. Назначение и условия эксплуатации двигателей основного исполнения	223
8.6.2. Синхронные явнополусные двигатели общего назначения серий СДН и СДНЗ	188	9.2.3. Особенности конструкции двигателей серии 4А	226
8.6.3. Синхронные явнополусные компрессорные двигатели серий СДК, СДКП, СДКМ	192	9.2.4. Асинхронные двигатели серии 4А основного исполнения	228
8.6.4. Синхронные явнополусные двигатели серий СДКП2 18—21-го габаритов	196	9.2.5. Двигатели серии 4А с повышенным пусковым моментом (4АР)	245
8.6.5. Синхронные явнополусные двигатели серии СДМЗ для привода мельниц	196	9.2.6. Двигатели серии 4А с повышенным скольжением (4АС)	246
8.6.6. Синхронные явнополусные двигатели серии СДМП2 19-го габарита	197	9.2.7. Многоскоростные двигатели серии 4А	249
8.6.7. Синхронные явнополусные двигатели серии ДСП	198	9.2.8. Двигатели серии 4А на частоту 60 Гц	254
8.6.8. Синхронные явнополусные двигатели серии ДСЗ для привода преобразовательных агрегатов	199	9.2.9. Двигатели серии 4А с фазным ротором (4АК, 4АНК)	255
8.6.9. Синхронные явнополусные вертикальные двигатели серии ВДС для привода насосов	200	9.2.10. Двигатели серии 4А малошумные (4А...Н)	257
8.6.10. Система возбуждения явнополусных синхронных двигателей	204	9.2.11. Двигатели серии 4А со встроенным электромагнитным тормозом (4А...Е)	257
8.6.11. Синхронные неявнополусные двигатели серий СГД и ТДС	204	9.2.12. Двигатели серии 4А встраиваемые (4АВ)	257
8.6.12. Синхронные неявнополусные двигатели серии СТПД	205	9.2.13. Двигатели серии 4А с встроенной температурной защитой (4А...Б)	258
8.6.13. Пуск синхронных неявнополусных двигателей	207	9.2.14. Двигатели серии 4А для моноблочных насосов (4А...Ж)	258
		9.2.15. Двигатели серии 4А тро-	

пического исполнения (4А...Т)	258	сельскохозяйственного исполне- ния (СХ)	320
9.2.16. Двигатели серии 4А химо- стойкого исполнения (4А...Х)	259	9.9.10. Двигатели серии А2, АО2 влагоморозостойкого исполнения (ХЛ)	320
9.2.17. Двигатели серии 4А сельскохозяйственного исполнения (4А...С, 4А...СХ)	259	9.9.11. Двигатели серии А2, АО2, уплотненные от проникновения пыли (УП)	320
9.2.18. Двигатели серии 4А влаго- морозостойкого исполнения (4А...ХЛ)	259	9.9.12. Двигатели серии А2, АО2 хладономаслостойкого исполнения (Ф)	321
9.2.19. Двигатели серии 4А руд- ничного исполнения (4А...РН)	259	9.9.13. Двигатели серии А2, АО2 для гражданского морского и речного флота (ОМ)	321
9.2.20. Двигатели серии 4А пыле- защитного исполнения (4А... УП)	260	9.10. Асинхронные двигатели большой мощности	323
9.2.21. Двигатели серии 4А для речных и морских судов граждан- ского флота (4А...ОМ)	260	9.10.1. Асинхронные турбодвига- тели серии АТД4	323
9.2.22. Двигатели серии 4А высо- коточные (4А...П2)	263	9.10.2. Асинхронные двигатели серий А4, АК4, ДА304	324
9.2.23. Двигатели серии 4А лифто- вые (4А...НЛБ)	266	9.10.3. Асинхронные двигатели типа АДО	328
9.2.24. Двигатели серии 4А частот- но-регулируемые (4А...Б2П, ПБ)	268	9.10.4. Асинхронные двигатели типа ВАКЗ	329
9.2.25. Двигатели серии 4А для привода деревообрабатывающих станков (4АХД)	273	9.10.5. Вертикальные асинхрон- ные двигатели серии ВАН	333
9.3. Асинхронные двигатели общего назначения серии 4АМ	273	9.10.6. Асинхронные двигатели типов АОК2-560, АОК2-630	335
9.4. Асинхронные двигатели общего назначения серии АИ	280	9.10.7. Асинхронные двигатели типа АКСБ 15-го габарита	335
9.4.1. Характеристика серии	280	9.11. Асинхронные двигатели спе- циального назначения	336
9.4.2. Двигатели серии АИ основ- ного исполнения	281	9.12. Фазорегуляторы и индукционные регуляторы напряжения	336
9.5. Асинхронные двигатели серии АО3 с высотами оси вращения 315, 355, 400 мм	293	9.12.1. Индукционные регулято- ры напряжения серии ИР	336
9.6. Асинхронные двигатели серии А3 с высотой оси вращения 315 мм	297	9.12.2. Индукционные регулято- ры напряжения серии ИР-6	340
9.7. Асинхронные двигатели серии АВШ	299	9.12.3. Фазорегуляторы типов ФР, ФРО	341
9.8. Асинхронные встраиваемые дви- гатели типов СВМ-6М, ЭД-1К, ЭД-3К	300	Раздел 10. Машины постоянного тока	344
9.9. Асинхронные двигатели серии А2, АО2	300	10.1. Общие сведения	344
9.9.1. Двигатели серии А2, АО2 основного исполнения	301	10.1.1. Особенности коллектор- ных машин постоянного тока	344
9.9.2. Двигатели серии А2, АО2 с повышенным пусковым момен- том (АОП2)	309	10.1.2. Основные элементы кон- струкции машин постоянного то- ка	344
9.9.3. Двигатели серии АО2 с по- вышенным скольжением (АОС2)	310	10.1.3. Характеристики машин постоянного тока	348
9.9.4. Многоскоростные двигате- ли серии А2, АО2	312	10.1.4. Регулирование частоты вращения машин постоянного то- ка	349
9.9.5. Двигатели серии А2, АО2 с фазным ротором (АОК2, АК2)	315	10.1.5. Коммутация машин по- стоянного тока	350
9.9.6. Двигатели серии А2 встраи- ваемые (АВ2, АПВ2, АСВ2)	319	10.2. Двигатели постоянного тока серии 4П	351
9.9.7. Двигатели серии А2, АО2 тропического исполнения (Т)	319	10.2.1. Общие сведения	351
9.9.8. Двигатели серии А2, АО2 химстойкого исполнения (Х)	319	10.2.2. Закрытые и обдуваемые двигатели унифицированной кон- струкции типов 4ПО и 4ПБ	352
9.9.9. Двигатели серии А2, АО2		10.2.3. Широкорегулируемые двигатели типа 4ПФ	360
		10.2.4. Крупные двигатели серии	

4П для тяжелых условий эксплуатации	367	10.10. Двигатели постоянного тока типа ДВ75	431
10.3. Машины постоянного тока серии 2П	369	10.11. Возбудители постоянного тока типа В18	432
10.3.1. Общие сведения	369	10.12. Тахогенераторы постоянного тока серии ПТ	433
10.3.2. Двигатели постоянного тока серии 2П	369	10.13. Машины постоянного тока большой мощности	434
10.3.3. Генераторы постоянного тока серии 2П	392	10.13.1. Области применения и особенности эксплуатации	434
10.4. Машины постоянного тока серии П	399	10.13.2. Двигатели для прокатных станов	435
10.4.1. Общие сведения	399	10.13.3. Генераторы постоянного тока для питания двигателей прокатных станов	441
10.4.2. Двигатели постоянного тока серии П	399	10.13.4. Крупные двигатели постоянного тока, отвечающие специальным требованиям	441
10.4.3. Генераторы постоянного тока серии П	407	10.13.5. Двигатели постоянного тока для электроприводов шахтно-подъемных механизмов	442
10.5. Двигатели постоянного тока серии ПБС (ПБСТ)	412	10.14. Перспективы развития конструкции машин постоянного тока	443
10.6. Двигатели постоянного тока серии ПС (ПСТ)	418	Список литературы	446
10.7. Замена машин постоянного тока общего назначения серий П, ПБС и ПС на серию 2П	420	Предметный указатель	447
10.8. Двигатели постоянного тока серии ПГ (ПГТ)	428	Указатель серий и типов машин	449
10.9. Двигатели постоянного тока серии ЭП	431		

Справочное издание

СПРАВОЧНИК ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МАШИНАМ

Т. 1

Редактор издательства Л. А. Решмина
Художественные редакторы В. А. Гозак-Хозак,
А. А. Белоус
Технический редактор Г. В. Преображенская
Корректор Г. А. Полонская

ИБ № 2569

Сдано в набор 02.12.87. Подписано в печать 24.08.88. Т-15848. Формат 70×100¹/₁₆. Бумага кн.-журн. имп. Гарнитура таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 37,05. Усл. кр.-отт. 74,1. Уч.-изд. л. 44,53. Тираж 85000 экз. Заказ № 1282. Цена 2 р. 70 к.

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
197136, Ленинград, П-136, Чкаловский пр., 15.